

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROGRAMAÇÃO DO FLUXO PRODUTIVO DE MÁQUINAS E
EQUIPAMENTOS PARA MOINHOS SOB ENCOMENDA
UTILIZANDO PERT/CPM E HEURÍSTICAS**

PAULO CESAR AUGUSTUS MENDES QUEZADO

**Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do
Grau de Mestre em Engenharia**

FLORIANÓPOLIS, MARÇO DE 1999

**PROGRAMAÇÃO DO FLUXO PRODUTIVO DE MÁQUINAS E
EQUIPAMENTOS PARA MOINHOS SOB ENCOMENDA
UTILIZANDO PERT/CPM E HEURÍSTICAS**

PAULO CESAR AUGUSTUS MENDES QUEZADO

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação.



**Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.
Coordenador**

Banca Examinadora:



**Prof. Dálvio Ferrari Tubino, Dr.
Orientador**



Prof. Paulo José de Freitas Filho, Dr.



Prof. Sérgio Fernando Mayerle, Dr.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
AGRADECIMENTOS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

1.1- ORIGEM DO TRABALHO.....	01
1.2- MOTIVAÇÃO PARA O TRABALHO.....	03
1.3- DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	04
1.4- OBJETIVOS DO TRABALHO.....	07
1.5- ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	07
1.6- METODOLOGIA DO TRABALHO.....	08

CAPÍTULO 2- FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1- O PCP EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA.....	10
2.2- SEQÜENCIAMENTO EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA.....	16
2.3- O MRP II EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA.....	21
2.4- O <i>JUST IN TIME</i> EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA.....	29
2.5- O OPT EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA.....	35
2.6- O PERT/CPM EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA.....	39

2.6.1- Método CPM.....	44
2.6.2- Método PERT.....	45
2.6.3- Outros modelos.....	47
2.6.4- Áreas de aplicação do método PERT/CPM.....	49
2.6.5- Redes PERT/CPM.....	49
2.6.6- Princípios para elaboração de uma rede PERT/CPM.....	50

CAPÍTULO 3- O PCP EM AMBIENTES DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA MOINHOS

3.1- AMBIENTES GENÉRICOS DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA.....	58
3.2- AMBIENTES DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA MOINHOS.....	62
3.3- O PCP EM AMBIENTES DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA MOINHOS.....	65
3.3.1- As heurísticas CMCR e CROC para programação da produção.....	69

CAPÍTULO 4- APLICAÇÃO DO PERT/CPM E HEURÍSTICAS EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA MOINHOS

4.1- AMBIENTE DA EMPRESA.....	84
4.1.1- O departamento de Vendas.....	86
4.1.2- O departamento Técnico.....	87
4.1.3- O PCP.....	88
4.2- DIFICULDADES ATUAIS DO PCP.....	89
4.3- MODELO ORGANIZACIONAL DO PCP.....	95
4.4- O SISTEMA DE APOIO DESENVOLVIDO PARA O PCP.....	99

4.5- RELATÓRIOS DO SISTEMA DE APOIO E APLICAÇÃO DAS HEURÍSTICAS CMCR/CROC.....	105
4.6- RESULTADOS OBTIDOS.....	112

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 - CONCLUSÕES.....	115
5.2 - RECOMENDAÇÕES.....	117

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
--	------------

LISTA DE FIGURAS

2.1	A função de Planejamento e Controle da Produção concilia o fornecimento dos produtos e serviços de uma operação com sua demanda	10
2.2	Visão geral das atividades do PCP	11
2.3	Planejamento de necessidades de materiais (MRP)	22
2.4	Inter-relações entre os módulos de um sistema MPR II típico	26
2.5	O JIT como uma filosofia, um conjunto de técnicas e um método de planejamento e controle	31
2.6	Comparação entre o planejamento convencional, originalmente adotado, e o método PERT, no projeto <i>Polaris</i>	46
2.7	Rede de atividades PERT/CPM	53
2.8	Forma incorreta de representar as atividades paralelas, A e B	53
2.9	Representação correta da rede anterior utilizando-se a atividade fantasma B'	54
2.10	Rede de atividades mostrando as datas e o caminho crítico	56
3.1	Estrutura de produção definidas a partir do instante de chegada do pedido	58
3.2	Caracterização da produção sob encomenda	61
3.3	Rede de atividades PERT/CPM	73
3.4	Rede de atividades PERT/CPM	80
3.5	Gráficos de Gantt para as seqüências dadas acima	82
4.1	<i>Lay-out</i> da fábrica	84
4.2	Tela principal do sistema	100
4.3	Tela principal do sistema com tela para criação de um novo projeto	101
4.4	Tela de seleção de recursos para um novo projeto	102
4.5	Tela para descrição das atividades com quadro de seqüenciação, duração das atividades e quantidade de recursos requerida por cada atividade	103
4.6	Situação onde não foi selecionado nenhum tipo de recurso para o projeto	103

4.7	Tela para abrir projetos já existentes	104
4.8	Tela para apontamentos das atividades	105
4.9	Tela para calcular projeto	106
4.10	Cálculo das folgas Total, Livre, Dependente e Independente	107
4.11	Resultado da programação das datas de início e fim das atividades baseada na folga dependente	108
4.12	Rede de atividades PERT/CPM com caminho crítico	109
4.13	Gráfico de Gantt com a programação das atividades	110
4.14	Tela mostrando a utilização do recurso produtivo durante a execução do projeto	111

LISTA DE TABELAS

2.1	Resultados dos tempos-cedo dos eventos início e fim, tempos-tarde dos eventos início e fim, folgas total, livre, dependente e independente e caminho crítico	56
3.1	Durações e recursos exigidos por cada atividade	73
3.2	Cálculo do CMCR e da prioridade para cada atividade	74
3.3	Programação da rede de atividades PERT/CPM utilizando a heurística do CMCR	76
3.4	Cálculo do CROC e das prioridades	77
3.5	Programação de rede de atividades pela heurística do CROC	77
3.6	Regras de seqüenciamento	78
3.7	Dados para o seqüenciamento	80
3.8	Seqüências obtidas com a aplicação de algumas regras da tabela 3.6	81

AGRADECIMENTOS

Ao amigo e orientador Dálvio Ferrari Tubino pela valiosa ajuda na elaboração deste trabalho, especialmente nas difíceis horas de dúvidas e desânimos.

Aos amigos Carlos Roberto de Oliveira Cardoso, Fernando Ribeiro de Melo Nunes e Sérgio José Barbosa Elias que no convívio diário me incentivaram e ajudaram muito.

Aos “filhotes” Marília e Lucas Quezado que, apesar de se sacrificarem junto a esta empreitada, suportando as tensões dos dias difíceis e a ausência em muitos momentos, souberem compreender este esforço.

A Juli pela valiosa ajuda na correção dos manuscritos, sem a qual muitos erros ainda permaneceriam.

Aos amigos, pela amizade.

A minha mãe, sempre orgulhosa da minha profissão.

Ao meu pai, pelo incentivo ao estudo.

A Deus, por tudo.

RESUMO

Esta dissertação propõe a aplicação do método PERT/CPM associado a heurísticas na programação da produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos.

Na produção sob encomenda, a principal questão a ser resolvida pelo PCP, e em particular pelo seqüenciamento das atividades, está ligada à alocação dos recursos múltiplos restritos disponíveis no sentido de garantir a data de sua conclusão. Tradicionalmente, o método PERT/CPM utiliza a lógica do recurso infinito, muito comum em grandes projetos de natureza não estritamente fabril, tais como: projetos navais, aeroespaciais, projetos civis etc. No ambiente fabril, o que prevalece é a lógica do recurso finito, o que dificulta a adoção do método PERT/CPM.

O trabalho apresenta os fundamentos teóricos referentes aos níveis de atuação do PCP, bem como as dificuldades de implantação de sistemas comerciais como: MRP II, JIT, OPT e PERT/CPM em ambientes de produção sob encomenda. As etapas do trabalho consideram a implementação do método PERT/CPM, associado a heurística, em linguagem *Delphi* 3.0, o qual utiliza a lógica dos recursos múltiplos restritos ou recursos finitos.

São descritos os ambientes genéricos de produção sob encomenda, assim como os ambientes de produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos. Também são relatadas as etapas de elaboração, os resultados obtidos e as dificuldades de implantação do método proposto.

ABSTRACT

This dissertation proposes the application of the PERT/CPM method associated to heuristics for programming the production on demand of machinery and equipments for flour mills.

In the production on demand, the main issue to be addressed by the PCP is associated with allocation of multiple restricted resources, aiming at the deadlines. The PERT/CPM method, which is based on the concept of infinite resources, is traditionally employed in very large projects. In the industrial environment, however, the logics of finite resources prevails, which sometimes prevents the use of PERT/CPM.

This work presents the theoretical foundations of PCP application, as well as the difficulties of implementing commercial systems such as MRP II, JIT, OPT and PERT/CPM in the environment of production on demand.

The present work considers the implementation of PERT/CPM associated to heuristics using the Delphi 3.0 language, under the optics of multiple restricted resources or finite resources.

The generic environments of production on demand and of production on demand of machinery and equipment for flour mills are described. The stages of elaboration, the results obtained and the difficulties of implementing the proposed method are also mentioned.

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO

1.1 ORIGEM DO TRABALHO

As atividades de produção, responsáveis pela transformação dos recursos de Capital, Material e Humano em bens e serviços de maior valor, constituem a base do sistema econômico de uma nação[MONKS, 1987]. Nos últimos anos, estas atividades baseadas em modernas técnicas de transformação, apoiadas na utilização de computadores de elevadas capacidades de memória e velocidades de processamento e *software's* cada vez mais acessíveis e poderosos, contribuíram para o ingresso da indústria numa era de automação sem precedentes[TURNER e outros, 1993]. Observa-se ainda, uma revolução nos paradigmas dos processos produtivos imposta pelas novas condições de mercado, em especial, pela globalização da economia. Com o advento da política globalizante, verificou-se uma maior integração entre os países, grupos de países ou entre continentes, com quedas de barreiras comerciais e, conseqüentemente, acirradas disputas entre empresas concorrentes, modificando, portanto, as relações de produção.

Hoje, a produção de bens e serviços exige, entre outras, a utilização de tecnologias computacionais ou tecnologias que propiciem o aumento da qualidade e da produtividade; a implantação de sistemas flexíveis de produção; a diminuição do tempo de inovação de produtos; o aumento da variedade dos produtos; redução do tamanho dos lotes de produção; aumento da taxa de utilização de máquinas, equipamentos e mão-de-obra; redução no tempo do ciclo de produção e, principalmente, a economia dos recursos produtivos, cada vez mais escassos[FREITAS FILHO e CUNHA, 1995][FREITAS FILHO, 1994] [CHENG, SILVA e LIMA, 1994].

Como consequência, o sistema de Planejamento, Programação e Controle da Produção se coloca como uma área de decisão prioritária para os executivos na atualidade. Sua importância é cada vez mais ampliada e intensificada pela busca incessante da competitividade por parte das empresas, objetivando, especialmente, reduzir os custos associados aos estoques e aos níveis de utilização da capacidade produtiva e a melhoria contínua dos níveis de serviços oferecidos aos clientes, através de uma maior velocidade de entrega, um melhor índice de pontualidade nos prazos acordados e um aumento de flexibilidade em relação às variações da demanda e dos recursos produtivos[PEDROSO e CORRÊA, 1996].

Até meados da década de 70 e início da década de 80, os *software's* de planejamento, programação e controle da produção exigiam computadores de grande porte, quase sempre inacessíveis às pequenas e médias empresas. Ou seja, o investimento e a absorção desta tecnologia se deu, quase que exclusivamente, pelas grandes empresas. No contexto econômico atual, cada vez mais dinâmico e suscetível a mudanças, o setor produtivo precisa estar a par das novas tecnologias para sobreviver às dificuldades do ambiente competitivo; e a incorporação de tecnologias computacionais de racionalização e otimização dos sistemas produtivos torna-se fundamental[CARVALHO e ANDRADE Jr., 1994].

Neste sentido, percebeu-se diante de um mercado globalizado, onde exigem-se prazos de fornecimento mais confiáveis, menores custos de produção, maior flexibilidade, entre outros, que aqueles *software's* apresentavam dificuldades de adaptação aos novos paradigmas.

Com o objetivo de adaptar-se aos novos paradigmas, há uma tendência atual ao desenvolvimento de sistemas de planejamento dinâmicos, baseados na utilização de critérios de recursos finitos. Isto é, planejar observando o tempo real e se o que está sendo planejado é realmente executado[SANTOS, 1997], aproximando-se, inclusive, da realidade do chão de fábrica. De uma forma geral, os novos sistemas deverão contemplar[PEDROSO e CORRÊA, 1996]:

- Realização das funções de controle em tempo integral;
- Planejamento instantâneo dos recursos em ilhas de produção ou na produção sob encomenda;
- Redução do volume de dados no PCP;
- Interface uniforme e amigável com toda a empresa;
- Maior ênfase ao nível de controle e planejamento do chão de fábrica.

A ênfase maior deste trabalho envolve os problemas referentes ao seqüenciamento da produção em ambiente *job-shop* (conhecido no Brasil como produção sob encomenda) ou, ainda, seqüenciamento da produção nos processos por projetos[TUBINO, 1997], particularmente, voltado para a fabricação de máquinas e equipamentos para moinhos.

Este assunto tem sido bastante abordado na literatura recente. No entanto, a aplicação proposta neste trabalho, voltada para a fabricação de máquinas e equipamentos para moinhos, não foi encontrada nas pesquisas feitas.

1.2 MOTIVAÇÃO PARA O TRABALHO

A tomada de decisão na manufatura, uma das mais delicadas situações dentro do contexto apresentado, necessita de ferramentas de suporte cada vez mais versáteis, flexíveis e poderosas devido à complexidade crescente dos problemas de gestão, associada ao crescimento das atividades econômicas em universos cada dia mais interdependentes. O processo decisório formaliza-se numa abordagem qualitativa ou quantitativa. O uso da perspectiva qualitativa ou a administração da produção baseada, principalmente, na intuição (*feeling*) e experiência própria do administrador, ou alheia a este, revela-se, por vezes, insuficiente para a tomada de decisões, especialmente na solução de problemas complexos. Neste caso, surge a necessidade de uma abordagem segundo uma ótica científica, apoiada na matemática, estatística, engenharia, computação, entre outras áreas do conhecimento; o que, quase sempre, exige o recurso de métodos quantitativos.

Na produção sob encomenda ou processos por projeto, o principal fator a ser resolvido pelo Planejamento, Programação e Controle da Produção, especialmente no seqüenciamento das atividades, é o problema da alocação dos recursos múltiplos restritos disponíveis, no sentido de assegurar a data de conclusão do projeto[TUBINO, 1997]. No entanto, a produção sob encomenda de bens e/ou serviços é desenvolvida para um cliente específico. Ou seja, espera-se, de início, a manifestação dos clientes, definindo, em seguida, os produtos a serem fabricados, já que estes não podem, *a priori*, ser produzidos para estoque. Isto faz com que as empresas que trabalham com produção sob encomenda tenham grandes dificuldades em seqüenciar a produção, na tentativa de conciliar uma elevada taxa de utilização e produtividade dos recursos produtivos com os prazos de entrega acordados com os clientes. Ou seja, realizar uma venda com prazo de entrega pré-fixado sem uma programação global eficaz é como atirar no escuro; correndo, inclusive, o risco de levar a empresa a incorrer em sérios prejuízos, em consequência de uma tomada de decisão sem o respaldo dos dados necessários. Outro problema, não menos importante, é a insatisfação do cliente pelo não cumprimento dos acordos assumidos, notadamente, o prazo de entrega. Em casos extremos, o cliente pode suspender o pedido, repassando-o a outro fornecedor ou aplicar multas, normalmente previstas em contrato.

A indústria, objeto da aplicação deste trabalho, fabrica mais de 80 máquinas diferentes para moinhos de trigo, cada uma com cinco ou seis modelos em que há variação

das dimensões e da capacidade produtiva. Uma máquina é constituída de inúmeros itens ou componentes, sendo que cada componente, quando não adquirido de terceiros via departamento de compras, é fabricado em um ou mais de um posto de trabalho. Além disso, ocorre, com frequência, a produção de várias máquinas simultaneamente. Como pode-se verificar, o número de variáveis a serem controladas cresce rapidamente, tornando-se praticamente impossível controlar e analisar todas as atividades de todos os projetos sem o auxílio de uma metodologia ou um sistema que mostre de forma clara e realista todas as etapas que compõem seu estado atual, assim como as previsões futuras. Vale ressaltar um sem número de problemas comuns e freqüentes na fabricação de máquinas e equipamentos que também devem ser levados em consideração. Entre outros, podem-se citar: acidentes de trabalho, ausências de funcionários, materiais fora do especificado, quebra de máquinas e equipamentos de apoio, atrasos de materiais e paradas de manutenção.

Como os prazos de entrega assumidos junto aos clientes são, muitas vezes, baseados na experiência adquirida ao longo do tempo, pode-se afirmar que somente com um sistema de informação integrando o PCP, Vendas e o chão de fábrica se torne possível estabelecer, com uma certa confiabilidade, os prazos de entrega. Mais ainda, o sistema deve ser capaz de seqüenciar as atividades, minimizando o tempo de fabricação, maximizando a utilização dos recursos produtivos e permitindo a visualização do andamento das tarefas no chão de fábrica.

1.3 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Ao contrário dos produtos padronizados que apresentam um elevado grau de uniformidade, são fabricados em larga escala e onde os recursos produtivos e os métodos de trabalho e controles podem ser mais facilmente padronizados, os produtos sob medida ou sob encomenda são desenvolvidos especialmente para um cliente específico. Desta forma, não se pode produzir para estoque. Em geral, os lotes são unitários; os recursos produtivos são sub-utilizados, apresentando, conseqüentemente, elevada capacidade ociosa e os recursos produtivos e os métodos de trabalho apresentam elevada dificuldade de

padronização. E como, quase sempre, a quantidade de produtos produzida é pequena, a automação dos processos produtivos não se justifica ou é bem menos viável, em função do grande volume requerido de investimentos. Por tudo isso, os produtos produzidos sob encomenda são mais caros que os produtos padronizados. Mais ainda, como os prazos de entrega acordados são fixados no momento da venda e por ser este prazo um fator determinante para a satisfação do cliente, a preocupação quanto aos riscos de um descumprimento é constante e suas causas são evidentes, neste caso.

De uma forma geral, os clientes ao procurarem um fornecedor de máquinas e equipamentos para moinhos, vislumbram, entre outros, três fatores de suma importância: qualidade, preço e prazo de entrega.

A qualidade, definida como adequação ao uso[JURAN e GRZYNA, 1991], tem assumido, nos últimos anos, um papel relevante como vantagem competitiva empresarial. No entanto, neste caso, a qualidade é uma condição *sine qua non* para concorrer como fornecedor. Ou seja, a qualidade é considerada, *a priori*, condição mínima e indispensável para que o fornecedor receba a solicitação do orçamento por parte do cliente. Para tanto, os clientes, muitas vezes, exigem o fornecimento de uma listagem dos clientes atendidos, para posterior consulta; ou mantém um histórico do fornecedor quanto a qualidade das máquinas, equipamentos e serviços associados já prestados a ele. Além disso, é comum, atualmente, em função das políticas de qualidade, o cliente exigir um acompanhamento, através de auditorias, ao longo do tempo de execução do projeto.

O preço, no contexto atual, com a economia globalizada, a abertura dos mercados e a acirrada disputa por clientes entre empresas concorrentes, tem-se tornado um fator crucial. Sob este aspecto, é de vital importância a determinação exata, ou pelo menos bastante aproximada, dos custos totais associados a cada máquina e equipamento. Para tanto, são necessários dados atualizados do chão de fábrica e ferramentas de apoio a um planejamento, programação e controle menos intuitivo e mais realista. Isto permite que a empresa fornecedora conheça o seu limite mínimo de preço para uma posterior negociação junto ao cliente e para não incorrer em prejuízos (para conquistar um cliente, o fornecedor pode até assumir um certo prejuízo num determinado pedido e recuperar o déficit nos pedidos seguintes, mas, ainda assim, é fundamental conhecer exatamente o que se está perdendo naquele momento).

Para o fator preço, dois atenuantes costumam ocorrer. O primeiro diz respeito a aquisição das máquinas e equipamentos no exterior. Hoje, mesmo com a

abertura dos mercados, os custos envolvidos com viagens de técnicos para efetuar a compra e fazer as auditorias, os impostos de importação e os riscos de haver problemas com manutenção têm desestimulado o cliente a fazer cotação fora do país. Outro atenuante é que o preço, muitas vezes, tem sido objeto de negociação envolvendo a qualidade, que neste caso é assegurada, e os prazos acordados. Assim, não se busca sempre o menor preço, e sim um preço bom associado a um prazo adequado às necessidades do cliente.

O prazo, por sua vez, é mais difícil de se negociar por duas razões básicas: o cliente necessita aumentar sua capacidade produtiva para atender às suas vendas. Atrasar o aumento desta capacidade seria, no mínimo, deixar de ganhar importantes fatias do mercado. Hoje, diante de um mercado competitivo, onde já não se briga por fatia de mercado e sim por cliente do mercado, ter produtos, sempre, para atender à demanda é vital para as empresas. Outra razão importante é quanto ao lançamento de novos produtos. Neste caso, é importante fazer os lançamentos antes da concorrência; e muitos destes lançamentos são realizados em feiras, a nível nacional, ou internacional, e todos estes eventos tem datas fixadas e inadiáveis.

É comum, na questão dos prazos, o cliente exigir um cronograma de execução explicitado em contrato e sujeito a multas quando não cumprido as datas acordadas. Pode-se, também, chegar ao extremo de se suspender a compra por eventuais atrasos, ficando a empresa fornecedora com o prejuízo total advindo daquele pedido.

Como pode-se observar, pelo exposto acima, o sucesso ou mesmo a sobrevivência de uma empresa fornecedora de máquinas e equipamentos para moinho está na sua capacidade de fornecer produtos com a qualidade requerida, a um preço adequado, e principalmente, na confiança que ela proporciona aos clientes quanto ao cumprimento dos prazos de entrega acordados. Neste sentido, é evidente que o problema maior está concentrado na sua organização interna; na sua capacidade de planejar, programar e controlar a produção de forma a maximizar a utilização dos recursos produtivos, minimizar a mão-de-obra ociosa, minimizar os tempos de execução dos projetos e maximizar as informações do chão de fábrica, objetivando dar um maior respaldo ao departamento de vendas quanto aos preços e aos prazos de entrega.

Melhorar os prazos de entrega significa poder aumentar o número de aceitação de pedidos, a satisfação dos clientes e, principalmente, o potencial de lucro, garantindo, assim, a sobrevivência da empresa.

1.4 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral deste trabalho consiste em implementar um sistema de programação e controle da produção em um ambiente de fabricação sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos de trigo, utilizando PERT-CPM, associado a heurísticas, para a maximização da utilização dos recursos produtivos e minimização do tempo de fabricação.

Para atingir este objetivo geral, vários objetivos específicos precisam ser atendidos, entre eles:

- Descrever o método PERT-CPM;
- Descrever as heurísticas utilizadas na alocação dos recursos múltiplos restritos, apoiadas na rede PERT-CPM;
- Descrever o sistema de programação e controle da produção a ser implementado;
- Implementar o sistema;
- Apresentar os resultados da implementação do sistema de programação e controle da produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos de trigo;

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em 5 capítulos. O capítulo 1 aborda a origem do trabalho, qual a motivação do autor ao elaborar o mesmo, a definição do problema, os objetivos a serem atingidos e a metodologia adotada. O capítulo 2 trata do embasamento teórico do trabalho, enfatizando as recentes pesquisas desenvolvidas na área. O capítulo 3 cria um modelo de PCP genérico, baseado na fundamentação teórica do capítulo anterior, caracteriza o chão de fábrica de um ambiente de produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos de trigo e a programação e controle da produção adotado por estas empresas. Também são apresentadas as heurísticas para a solução do problema da programação da produção, objeto deste estudo. No capítulo 4, o ambiente de aplicação do trabalho é apresentado com todas as áreas envolvidas. São mostradas as dificuldades atuais

do PCP e é apresentado o sistema desenvolvido para implementação. Finalmente, o capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho com as devidas recomendações para trabalhos futuros.

1.6 METODOLOGIA DO TRABALHO

O trabalho foi elaborado mediante consulta a livros; revistas; periódicos; anais de congressos, encontros, seminários, *workshop's*; monografias; dissertações de mestrado e teses de doutorado. Os principais locais para a recuperação destas fontes de consulta bibliográficas foram as bibliotecas de universidades e institutos de pesquisa e desenvolvimento, sendo as principais: Universidade Federal do Ceará (UFC); Universidade de Fortaleza (UNIFOR); Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC); Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC); Serviço Nacional da Indústria (SENAI/Ce); Universidade de São Paulo (USP); Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

A coleta de dados foi obtida no chão de fábrica da empresa onde foi realizado o trabalho, através, principalmente, de entrevistas e acompanhamento dos serviços junto aos gerentes de caldeiraria e montagem, programadores de produção dos produtos sob encomenda, supervisores de produção e operadores de máquinas. Outros dados, utilizados para ilustração ou para comparação de resultados, foram obtidos através de *software's* de programação da produção, artigos pertinentes ao assunto ou exemplos de livros, manuais etc, nas áreas de sistemas de produção e processos de fabricação. Foi utilizado, também, o correio eletrônico para troca de informações com pesquisadores que estejam desenvolvendo trabalhos semelhantes. A participação em eventos da área foi outra forma de coletar dados e informações relevantes ao bom desenvolvimento do trabalho.

Os principais recursos utilizados foram os disponíveis na Universidade Federal do Ceará, como o Laboratório de Simulação e Otimização de Sistemas Produtivos e o Laboratório de Pesquisa Operacional. Foram utilizados, ainda, os recursos disponíveis na empresa como *software's* de planilhas de cálculo, geradores de gráficos e geradores de

dados estatísticos. Contou-se, também, com a experiência de professores da UFC e UFSC; com a própria experiência da empresa na fabricação de máquinas e equipamentos para moinhos, de alguns de seus parceiros e, em especial, dos seus clientes.

CAPÍTULO 2- FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 O PCP EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA

A década de 90, por força do avanço tecnológico e de uma conjuntura econômica globalizada, tem sido caracterizada por profundas alterações na relação entre o Capital e o Trabalho, reorganizando, desta forma, o Sistema Capitalista com a definição de novos paradigmas produtivos. Neste sentido, as empresas de bens e serviços que não tiverem seus sistemas produtivos voltados para a melhoria contínua da produtividade não sobreviverão a este processo de globalização. A velha estratégia da produção em massa de *Ford* e derivada da noção de economia de escala, já não faz mais sentido, com raras exceções. O que prevalece e se impõe às empresas hoje é, por exemplo, a adoção de sistemas flexíveis de produção, baixos *lead times*, rapidez no projeto e implantação de novos produtos. Assim, as formas como se planejam, programam e controlam tais sistemas produtivos são de fundamental importância neste contexto.

No conjunto de funções dos sistemas de produção, em geral agrupadas em três áreas básicas: Finanças, Produção e Marketing, estas atividades são desenvolvidas pelo Planejamento e Controle da Produção-PCP[TUBINO, 1997]. A figura 2.1, a seguir, mostra a função do Planejamento e Controle da Produção:

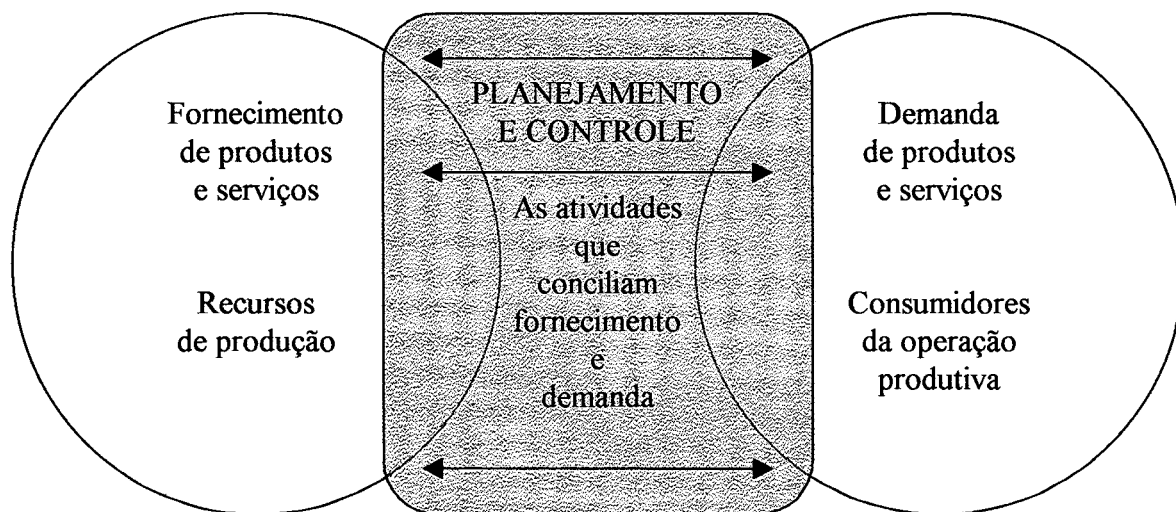


Fig. 2.1- A função de Planejamento e Controle da Produção concilia o fornecimento dos produtos e serviços de uma operação com sua demanda[SLACK e outros, 1997].

No nível estratégico, são definidas as políticas estratégicas de longo prazo da empresa. Dentre estas políticas, algumas são de suma importância para o PCP, quais sejam: decisões de compra de equipamentos; ampliação ou redução da capacidade produtiva; número de horas-homem disponíveis, definido pela contratação, subcontratação ou demissão de recursos humanos; número de horas-máquina; definição do tipo de produto que será produzido; implementação de novas tecnologias etc. Tais informações são fornecidas ao PCP que, neste nível, participa com a elaboração daquilo que é conhecido como: Planejamento Estratégico da Produção, o qual permite a geração de um Plano de Produção com valores agregados de previsão de demanda.

No nível tático, são estabelecidos os planos de médio prazo para a produção. Neste caso, o PCP participa com a formulação do Planejamento-mestre da Produção e, através deste, obtém-se o Plano-mestre de Produção (PMP). Este plano, levando em conta dados como: número de turnos, recursos humanos e horas disponíveis, entre outros, equaciona a capacidade produtiva e informa a programação da fábrica.

No nível operacional, são preparados os programas de curto prazo de produção e realizado o acompanhamento dos mesmos. Neste nível, o PCP prepara e realiza a Programação da Produção administrando estoques, sequenciando as atividades, emitindo e liberando as Ordens de Compras (OC), Ordens de Fabricação (OF) e Ordens de Montagem (OM). No nível operacional, é realizado, também, o Acompanhamento e Controle da Produção.

Os dados e as informações dentro dos níveis estratégico, tático e operacional devem estar consolidados e coerentes. Ou seja, o Plano-mestre de Produção, formulado através do Planejamento-mestre da Produção, só será viável se estiver compatível com as decisões tomadas a longo prazo, previstas e contempladas no Planejamento Estratégico da Produção. Como exemplos, pode-se citar: a aquisição de máquinas e equipamentos, negociação com fornecedores etc. Da mesma forma, a programação de fabricação de determinado componente será realizada de forma eficiente se a capacidade produtiva do setor responsável pela mesma tiver sido prevista e equacionada no Planejamento-mestre da Produção, com a definição do número de turnos, recursos humanos, materiais alocados etc[TUBINO, 1997].

De uma forma geral, na produção sob encomenda a estrutura de produção pode ser representada ou distribuída da seguinte forma[NUNES e outros, 1996]:

- Negócio: produtos sob encomenda;
- Diversidade dos produtos: elevada;
- Frequência de produção: pouco repetitiva;
- Natureza da demanda: a partir do pedido do cliente;
- Composição do produto: transformação de materiais e montagem;
- Fluxo de produção: várias etapas;
- Após chegada do pedido: elaboração de projeto ou adaptações, definição do processo de fabricação, compras, fabricação, testes e expedição.

Desta forma, as atividades desenvolvidas pelo Planejamento e Controle da Produção em ambientes de produção sob encomenda são bastante complexas em função do número de variáveis envolvidas. Mais ainda, os roteiros de produção e os tempos de processo sofrem constantes mudanças, já que são dependentes dos pedidos que chegam à empresa, o que caracteriza um elevado nível de variabilidade do processo produtivo. Assim, torna-se bastante difícil prever, com uma certa antecedência e confiabilidade, como o trabalho será distribuído entre os vários grupos de máquinas ou entre os diversos setores em qualquer período de tempo.

A natureza intrínseca de recursos múltiplos restritos, na manufatura, cria, inevitavelmente, disputas e conflitos de prioridades de entrega, os quais se tornam ainda mais graves com a ocorrência de eventos indesejados e não previstos tais como: atrasos na entrega de materiais e componentes, quebra de máquinas, ausência de funcionários, erros na fabricação, entre outros. Tudo isto faz com que, a curto e médio prazos, ocorram severas flutuações na demanda da fábrica e, conseqüentemente, erros no estabelecimento dos prazos de entrega aos clientes.

Outro problema grave, advindo desta problemática, diz respeito a credibilidade de dados históricos da produção. A credibilidade em se conseguir atingir as datas de entrega acordadas é de extrema importância para o cliente, pois permite que se façam planejamentos futuros baseados nas datas estipuladas, com confiabilidade[SUCOMINE e RESENDE, 1996]. Ao contrário, com todos aqueles problemas citados, os intervalos de tempo necessários para a execução de uma atividade, ou seja, os *lead time* de manufatura são, em geral, longos e não confiáveis, já que somente uma pequena parcela deste tempo é realmente devida ao tempo de processamento. O restante é perdido nos eventos indesejados.

A seguir, será feita uma breve descrição das principais atividades desenvolvidas pelo Planejamento e Controle da Produção (PCP) dentro de um ambiente de produção sob encomenda:

Planejamento Estratégico da Produção: consiste em estabelecer um plano de Produção para determinado período (longo prazo), segundo as estimativas de venda e a disponibilidade de recursos financeiros e produtivos. A estimativa de vendas serve para prever os tipos e quantidades de produtos que se espera vender no horizonte de planejamento estabelecido, que em geral é de um ano. Esta previsão é feita baseada em dados históricos e metas atribuídas à equipe de vendas, assim como aos representantes comerciais. A capacidade de produção é o fator físico limitante do processo produtivo. No entanto, esta capacidade pode ser incrementada ou reduzida, desde que planejada a tempo, pela adição de recursos financeiros, demissões, férias coletivas etc. No Planejamento Estratégico da Produção, o Plano de Produção gerado é pouco detalhado, já que, normalmente, se trabalha com família de produtos. Este procedimento tem como finalidade possibilitar a adequação dos recursos produtivos à demanda esperada dos mesmos.

Planejamento-mestre da produção: Este planejamento, baseado nas estimativas de vendas a médio prazo ou nos pedidos em carteira já confirmados, consiste em definir um Plano-mestre de Produção de produtos finais, detalhado a médio prazo, período a período, a partir do Plano de Produção. Onde se observa uma situação de produção em série, mesmo com diversidade de produtos, este planejamento se torna bem mais fácil. No caso geral da produção sob encomenda não se pode estabelecer, *a priori*, que produto e em qual quantidade este será vendido, tornando inviável planejar com base em previsões de vendas. Neste caso, o planejamento é bem mais complexo, só podendo ser elaborado mediante os pedidos em carteira. O aspecto temporal, neste caso, também é de suma importância, não existindo, no entanto, um padrão preestabelecido, já que os horizontes de planejamento dependerão da flexibilidade do sistema produtivo.

O Plano de Produção que é pouco detalhado considera, quando possível, famílias de produtos com a finalidade de possibilitar a adequação dos recursos produtivos à demanda esperada dos mesmos. O Plano-mestre de Produção, por sua vez, uma vez confirmados os pedidos, especifica itens finais que fazem parte destas famílias. A partir da definição deste Plano-mestre, o sistema produtivo como um todo passa a assumir compromissos de fabricação e montagem destes itens.

Vale ressaltar, que ao se realizar o Planejamento-mestre da Produção e definir um Plano-mestre de Produção inicial, o PCP deve, necessariamente, analisá-lo com rigor quanto à necessidade de recursos múltiplos produtivos com o objetivo de identificar possíveis restrições ou gargalos que possam tornar inviável a execução deste plano no curto prazo, já que estes recursos quase sempre são restritos. Caso seja identificado algum problema ou potenciais problemas, o planejamento deve ser refeito tomando-se as devidas medidas preventivas até se chegar a um Plano-mestre de Produção viável.

Programação da Produção: Tendo como base o Plano-mestre de Produção, a Programação da Produção define, no curto prazo, quanto e quando comprar, fabricar ou montar cada item necessário à composição dos produtos finais. Para tanto, dimensionam-se e emitem-se Ordens de Compra para aqueles itens adquiridos fora da fábrica; Ordens de Serviço ou Ordens de Fabricação para os itens fabricados internamente e Ordens de Montagem para as submontagens intermediárias e montagem final dos produtos estabelecidos no Plano-mestre de Produção. Na maioria dos casos de produção sob encomenda, o sistema de produção empregado é empurrado, isto é, a programação da produção envia ordens a todos os setores envolvidos, **empurrando a produção**.

A Programação da Produção se encarrega, ainda, de elaborar o seqüenciamento das ordens emitidas, em função da disponibilidade dos recursos produtivos, buscando otimizar a utilização destes recursos. No caso da produção sob encomenda, os recursos necessários são definidos e providenciados no Plano de Produção; o Plano-mestre de Produção se encarrega de equacionar as restrições ou gargalos de produção de tal forma que o programa de produção seqüenciado ocorra sem problemas na sua execução.

Acompanhamento e Controle da Produção: Através da coleta e análise de dados, o Acompanhamento e Controle da Produção tem como objetivo garantir que o programa de produção emitido seja executado a contento. Assim, visando ao efetivo cumprimento deste programa, buscam-se a rápida identificação dos problemas, assim como as correspondentes medidas corretivas.

O Acompanhamento e Controle da Produção, além das informações de produção úteis ao PCP, se encarrega também de coletar dados tais como: índices de defeitos, horas/máquinas e horas/homem consumidas, consumo de materiais, índices de quebra de máquinas, entre outros, para os demais setores do sistema produtivo.

2.2 SEQÜENCIAMENTO EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA

O problema de seqüenciamento faz parte de uma classe de problemas combinatórios de difícil resolução: os problemas NP-completos[GAREY e JOHNSON, 1979]. Resumidamente, o problema de seqüenciamento pode ser descrito da seguinte forma: deseja-se realizar n tarefas ou atividades, onde cada atividade, para ser realizada, deve ser processada pelo menos em um, quase todos ou todos os m recursos produtivos. Um recurso produtivo pode processar somente uma atividade de cada vez, e iniciada uma tarefa, ela deve ser processada até a sua conclusão.

O número de seqüências distintas possíveis para a realização das atividades, em geral, é muito grande ($n!$). Portanto, o objetivo é minimizar o tempo de conclusão de todas as n atividades nos m recursos, ou seja, obteremos pelo menos uma entre as $n!$ seqüências distintas possíveis, cuja a ordem de processamento estabelecida, realize todas as tarefas num tempo menor ou igual que as demais.

Diversos autores se dedicaram ao estudo do problema de seqüenciamento nos últimos anos, chegando-se a mais de 500 artigos publicados[NORONHA e RIBEIRO, 1995]. Os resultados destes trabalhos se traduzem na proposição de diferentes métodos de resolução para o problema de seqüenciamento, tais como[SILVA, 1996]:

- Métodos arborescentes (grafos), associados ou não a heurísticas: ASHOUR E HIREMATH[1973]; GONDRAN[1974]; CARLIER[1984]; YAMAMOTO[1985]; NORONHA E RIBEIRO[1995];
- Métodos de seqüenciamento admissíveis destinados ao apoio à decisão: ERCHLER[1979];
- Programação Linear Inteira Mista: WAGNER[1959]; DANTZIG[1960]; MANNE[1960]; STORN[1963]; GIGLIO[1964]; GREENBEREG[1968]; VON LANZENAUER[1970]; GUPTA[1970]; ASHOUR[1970]; BAKER[1974]; LARBODERE E KAUFMANN[1974]; NEMHAUSER[1988];
- Programação dinâmica: BAKER E SCHRAGE[1978];
- Heurísticas em geral: PORTMANN[1988]; MEGUELATI[1988];
- Técnicas de recozimento: DUPONT[1986];

- Decomposição espacial e/ou temporal de fabricação: YAMAMOTO[1977]; PORTMANN[1988]; MEGUELATI[1988]; RIBEIRO E PRADIN[1991];
- Regras para arbitragens de conflitos de utilização de máquinas: GODRAN E DOSTATNI[1977]; YAMAMOTO[1985]; ROUBELLAT E THOMAS[1988];
- Redes neurais: FOO E TAKEFUJI[1988]; FFKUDA, MAEDA E YOSHIKAWA[1990]; YEH, LIN E CHANG[1995];
- Enumeração implícita: BALAS[1969]; LAGEWEG E KAN[1977].

Neste item, trataremos do seqüenciamento nos ambientes de produção sob encomenda. Os processos por projeto, ou produção sob encomenda, têm por objetivo o atendimento a uma demanda específica de um determinado cliente, que muito provavelmente não se repetirá nos próximos pedidos. Vale ressaltar, porém, que algumas empresas, muito embora negociem seus produtos sob encomenda, isto é, só produzem após receber o pedido do cliente, não se enquadram neste tipo de processo por projeto aqui proposto, já que os pedidos se repetem freqüentemente com o tempo, seguem roteiros padronizados e possuem tempos de execução curtos[TUBINO, 1997]. É o caso, por exemplo, dos fabricantes de embalagens plásticas. Como este processo, e outros similares, são um misto de produção em lote e produção sob encomenda, as atividades de seqüenciamento para os processos repetitivos em lotes se aplicam melhor.

No caso específico das empresas que trabalham sob encomenda, algumas características lhes são inerentes e estas, por influenciarem o sistema produtivo, tornam diferenciados os meios de planejamento, programação e controle da produção destas empresas. Como principais características, pode-se citar:

- Tempo de preparação do equipamento em relação ao tempo de produção é indeterminado;
- A quantidade produzida de artigos iguais é pequena, devido à sazonalidade e ao fato de trabalhar sob encomenda;
- *Lay-out* funcional ou por processo;
- A quantidade de instruções de serviços é grande;
- Maior qualificação dos operadores (polivalência);
- A capacidade ociosa da fábrica é geralmente grande;
- A movimentação de materiais dentro da fábrica é lenta;
- Equipamentos universais.

Todas estas particularidades contribuem de alguma forma para tornar o planejamento, programação e controle da produção bem mais complexo, pois deverão ser observadas as perdas no tempo de processo devido ao transporte, tempo de preparação (*setup*) variável, consulta constante às instruções de serviço, grande interdependência entre os setores fabris, encadeamento e seqüência de tarefas mais complexas do que num *lay-out* por produto (linha de produção), sazonalidade dos produtos elevada e quantidade produzida extremamente variável, entre outros fatores. Ou seja, a complexidade associada ao seqüenciamento da produção sob encomenda deriva da natureza das características gerais do ambiente. Tipicamente, estes ambientes produzem um elevado número de produtos diferentes, onde cada produto tem suas próprias exigências de fabricação. Mais ainda, não é comum nestes ambientes a existência de um banco de dados, o que em tese poderia auxiliar no seqüenciamento.

Neste caso, o banco de dados, para cada produto, requereria providências de fabricação específicas, incluindo ordens de fabricação, as várias operações a serem executadas, operações de *setup*, tempos-padrões, tempos de processos alocados para cada operação e muitas outras informações. Como o volume de informações é bastante elevado, o seqüenciamento se torna impraticável, se se quer sair do empirismo e programar a produção baseada em dados concretos. Seria necessário, portanto, um sistema com habilidade o suficiente para incorporar quantidades indeterminadas de informações específicas de fabricação, de tal maneira que permitisse o agrupamento de serviços com similares requisitos de fabricação para posterior seqüenciamento.

Neste sentido, recentemente, numerosos sistemas foram desenvolvidos para melhorar a tomada de decisão no controle do chão de fábrica. Apenas para ilustrar, pode-se citar o chamado DSSMS (*decision support system for machine scheduling*); sistema de planejamento específico de apoio à decisão para o ambiente de produção sob encomenda.

O DSSMS, apoiado num microcomputador interativo, está habilitado a produzir planejamento, baseado em tempo real ou informações contínuas vindas do chão de fábrica e entradas de informações realizadas pelos programadores[JACOBS e LAUER, 1994]. Este sistema inclui a capacidade de incorporar quantidades indeterminadas de informações específicas de fabricação, de tal forma que serviços com similares requisitos de fabricação, sejam agrupados para posterior seqüenciamento.

Outra alternativa, segundo KANET (1991), é um sistema eletrônico denominado *leitstand*, que é um sistema gráfico interativo capaz de fornecer suporte à tomada de decisão no planejamento e controle da produção.

As características básicas deste sistema são[SANTOS, 1997]:

- Representação gráfica do planejamento na forma de gráficos de Gantt;
- Editor para a geração manual e manipulação do planejamento;
- Um banco de dados do sistema gerencial;
- Um componente de avaliação;
- Um componente automático de geração e manipulação do planejamento.

De uma forma geral, estes sistemas são baseados em algoritmos que produzem uma solução ótima, ou em modelos de simulação, ou ainda utilizando soluções de inteligência artificial. No entanto, a maior parte opera como “caixas pretas”, produzindo um seqüenciamento automático que impede uma maior compreensão da lógica utilizada, por parte do usuário. Além disso, muitos destes sistemas operam em ambientes computacionais de grande porte, o que dificulta sua disseminação. Mais ainda, o seqüenciamento de alguns sistemas resultam de operações muito demoradas, incompatíveis com o que se exige no chão de fábrica.

Em levantamento recente feito por CORRÊA e PEDROSO [1996] existem mais de 90 sistemas computacionais capazes de auxiliar no gerenciamento do PCP em ambientes de produção sob encomenda. Dentre eles se destacam:

- *Factor*: produto da *Factrol, Inc. West Lafayette*, EUA;
- *Schedulex*: produto da *Numetrix Limited*, Ontario, Canadá;
- *Leitstand FI-2*: produto da *IDS*, Alemanha;
- *AHP-Leitstand*: produto da *AHP Havermann & Partner*, Alemanha;
- *Auto-Sched*: produto da *Auto Simulations*, Utah, EUA;
- *MOOPI*: produto do *Berclain Group Inc.*, Quebec, Canadá;
- *Rythm*: produto da *I2 Technologies*, Dallas, EUA;
- *MPSwin*: produto da *Bridgeware Inc.*, Hayward, CA, EUA;
- *Goal System*: produto da *Goal Systems Inc.*, New Heaven, EUA;
- *Infor*: produto da *Infor GmbH*, Alemanha;
- *CA-Quick response engine*: produto da *Computer Associates Int.*, NY, EUA;

- *PaceMaker*: produto da *Paragon Management Systems Inc.*, CA, EUA;
- *Response Agent*: produto da *Red Pepper Software Co.*, San Mateo, CA, EUA;
- *Fact*: produto da *Fact Inc.*, EUA;
- *Resonance*: produto da *Orissa International*, CA, EUA;
- *MicroPlanner*: produto da *Micro Planning Int.*, San Francisco, EUA;
- *Metashop*: produto da *Metatron Corp.*, Beaverton, EUA;
- *Preactor*: produto da *Systems Modeling Corp.*, Inglaterra.

No Brasil, ainda é incipiente o desenvolvimento de *software's* de PCP. Em recente pesquisa a nível nacional, ERDMANN e KOLLER (1996) avaliaram 15 *software's* de PCP utilizados no mercado nacional. Dentre os genuinamente nacionais, destacam-se o:

- | | |
|---|---------------------------|
| • Vega PCP 8.0; | PCP <i>On Line</i> ; |
| • Sistema de gerenciamento empresarial; | Hime <i>System</i> 6.1.5; |
| • Magnus I; | RSI PCP 2.0; |
| • SIGA Advanced PCP 2.01; | Siscorp PCP; |
| • Sysvale; | PPCCP 4.0; |

Dentre estes, apenas três trabalham com redes de planejamento.

Segundo JACOBS e LAUER (1994) para os sistemas de seqüenciamento atenderem adequadamente ao ambiente de produção sob encomenda, estes devem considerar os seguintes objetivos:

- Satisfazer às exigências do departamento sucessor;
- Minimizar os inventários de serviços em processo;
- Minimizar a demanda de gerenciamento;
- Maximizar os serviços que estão com suas datas vencidas;
- Seqüenciamento amigável para tratar de objetivos conflitantes;
- Maximizar o cumprimento dos prazos de entrega dos serviços.

Aliás, nos processos típicos por projetos, a principal questão a ser resolvida pelo PCP, em particular pelo seqüenciamento das tarefas, está ligada a alocação dos recursos produtivos disponíveis no sentido de garantir a data de conclusão do projeto. Neste aspecto, a técnica mais empregada para planejar, seqüenciar e acompanhar projetos é a técnica conhecida como PERT/CPM[TUBINO, 1997], a qual será tratada com mais detalhes posteriormente.

2.3 O MRP II EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA

Quando a demanda de um item depende apenas e diretamente das forças do mercado, diz-se que o mesmo possui demanda independente; quando, por sua vez, sua demanda depende diretamente da demanda de outro item, diz-se que ele possui demanda dependente. A diferença básica entre os dois itens, de demanda independente e de demanda dependente, é que a demanda do primeiro tem que ser prevista com base nas características do mercado consumidor. A demanda do segundo, entretanto, não necessita ser prevista, pois sendo dependente de outro, pode ser calculada com base na demanda deste [CORRÊA e GIANESI, 1993].

O MRP (ou MRP I) (*Material Requirements Planning* ou Planejamento das Necessidades de Material), desenvolvido a partir dos anos 60, é uma técnica para converter a previsão de demanda de um item de demanda independente em uma programação das necessidades das partes componentes do item. A partir da data e da quantidade em que um produto final é necessário, obtém-se as datas e as quantidades (cálculos de volume e tempo) em que suas partes componentes são necessárias. Esta desagregação do produto em suas partes componentes denomina-se explosão [MOREIRA, 1998].

Para tanto, devemos habilitar o MRP a responder algumas perguntas básicas, quais sejam:

- Que componentes serão necessários para cumprir a demanda de produtos finais?
- Que quantidades destes serão necessárias?
- Quando serão necessários estes componentes?

Como resultados principais de sua operação, o MRP fornece:

- Ordens de compra;
- Ordens de serviço;
- Planos de materiais.

Sendo necessários os seguintes insumos:

- Programa-mestre de Produção;
- Lista de Materiais;
- Registros de estoque.

A figura. 2.3, a seguir, mostra um desenho esquemático do planejamento de necessidades de materiais (MRP):

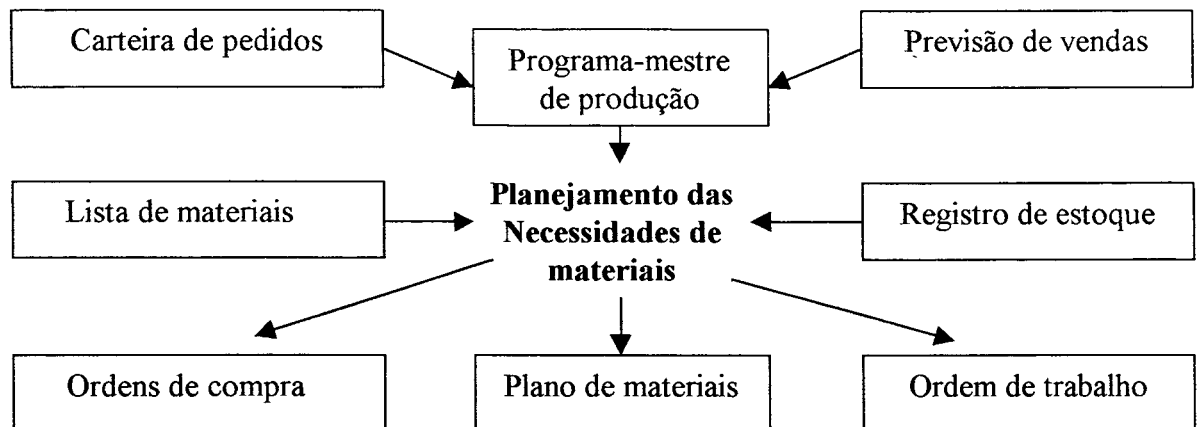


Fig. 2.3- Planejamento de Necessidades de Materiais-(MRP)[SLACK e outros, 1996].

Até meados dos anos 60, a utilização da lógica do cálculo de necessidades, embora muito simples e conhecida há bastante tempo, era praticamente impossível, notadamente nos processos de manufatura complexos. As principais razões para este fato eram as limitadas capacidades de armazenamento e velocidades de processamento de dados capazes de tratar o enorme volume de informações que, em geral, o cálculo de necessidades requer em uma situação real. Hoje, com a disponibilidade de computadores de baixo custo e de elevadas capacidades de memória e velocidades de processamento, o cálculo de necessidades passa, cada vez mais, a ser considerado uma alternativa viável para utilização prática. Mais ainda, a rápida evolução do mercado, com clientes cada vez mais exigentes e variados, possibilitou o surgimento de sistemas de manufatura altamente automatizados e flexíveis, capazes de tratar uma variedade de produtos de volume considerável e admitir rápidas alterações no processo[PALOMINO, 1996].

Neste sentido, a partir da década de 70, o sistema de administração da produção MRP II (*Manufacturing Resources Planning* ou Planejamento dos Recursos de Manufatura) tornou-se o sistema de grande porte que mais tem sido implantado pelas

empresas[CORRÊA e GIANESI, 1993]. Pode-se definir o MRP II como um plano global para o planejamento e monitoramento de todos os recursos de uma empresa de manufatura: manufatura, marketing, finanças e engenharia[WIGHT, 1984]. Trata-se de um sistema hierárquico de administração da produção, em que os planos de longo prazo de produção são sucessivamente detalhados até se chegar ao nível do planejamento de componentes e máquinas específicas. Em essência, é um aperfeiçoamento do MRP, ou seja, com a massificação do uso da técnica do cálculo de necessidades de materiais (base do MRP) e com o surgimento de diversas pesquisas desenvolvendo e avaliando a aplicação prática dos princípios do MRP a situações reais de produção, muitos pesquisadores perceberam que a mesma lógica de cálculo de necessidades poderia, com pouco esforço adicional, ser utilizada para o planejamento de outros recursos de produção, tais como as necessidades de mão-de-obra, máquinas, equipamentos etc, além dos materiais. O esforço adicional necessário estava ligado à necessidade de mais informações, como por exemplo, àquelas referentes aos centros produtivos, roteiros de produção, taxas de consumo de recursos por item produzido, entre outras, as quais deveriam ser incorporadas à base de dados que o MRP já utilizava[CORRÊA e GIANESI, 1993]. Naturalmente, com a extensão do conceito de cálculo de necessidades ao planejamento dos demais recursos de manufatura, e não apenas dos recursos materiais, como também para que ficasse claro que se tratava apenas de uma extensão do conceito do MRP original, o novo MRP passou a chamar-se MRP II, embora com outro significado para a mesma sigla. Assim, o MRP II usa o MRP como base, mas vai além, provendo as necessárias malhas de controle para monitorar e controlar o plano de produção[LAWRENCE, 1987], ou seja, inclui não apenas conceitos de planejamento de materiais, mas de planejamento de recursos da produção e malhas de realimentação que reportam os resultados reais contra os planos previstos.

Na prática, foi acrescido um módulo para o cálculo de necessidades de outros recursos, chamado *Capacity Requirements Planning* (CRP ou Planejamento da Necessidade de Capacidade) (produtiva). Outro módulo que foi acrescido ao MRP original foi o módulo de controle de fábrica (SFC ou *Shop Floor Control*). Este módulo visa seqüenciar e liberar as ordens para a fábrica, assim como confrontar o que foi planejado com o que é executado na fábrica. É um módulo que demanda extensiva atividade de apontamento das tarefas da fábrica e realimentação do sistema quanto à execução da produção.

O MRP II constitui-se de vários módulos integrados, onde cada um tem uma função específica, como descrito a seguir [CORRÊA e GIANESI, 1993] [SLACK e outros, 1996] [PALOMINO, 1996]:

Módulo de Planejamento da Produção (*Production Planning*): Tem como função auxiliar a decisão dos planejadores quanto aos níveis agregados de estoques e produção período a período, baseando-se em previsões de demanda agregada, ou seja, nos níveis de demanda do conjunto de produtos. Apoiado nos planos estratégicos da empresa, é utilizado na elaboração do Plano de Produção, o qual dará suporte à definição do Plano-mestre de Produção.

Módulo de Planejamento-Mestre da Produção (MPS - *Master Production Schedule*): O Programa-mestre de Produção é a fase mais importante do planejamento e controle de uma empresa, constituindo-se na principal entrada para o planejamento das necessidades de materiais. Na manufatura, o MPS, com base no Plano de Produção, previsão de vendas e níveis de estoques de produtos acabados, projeta a quantidade e o momento em que os produtos finais devem ser produzidos, o número de peças por item específico e os níveis de estoques a serem mantidos, direcionando toda a operação em termos do que é montado, manufaturado e comprado. Isto permite o planejamento da utilização de mão-de-obra, máquinas e equipamentos e determina o aprovisionamento de materiais e capital. Neste módulo, verifica-se a viabilidade, ou não, de executar o plano em termos de limitações de capacidade de produção, o que é feito de forma agregada por um mecanismo chamado *rough-cut capacity planning*, que é parte do módulo de planejamento das necessidades de capacidade.

Módulo de Cálculo de Necessidade de Materiais (MRP – *Material Requirements Planning*): É o coração do sistema. Baseado no MPS, nos níveis presentes de estoques e produtos da lista de materiais, este módulo desenvolve os requisitos de compras e produção dos componentes. Os requisitos de compras são direcionados para os subsistemas de compras, enquanto que os requisitos de componentes para manufatura são dirigidos para o subsistema Planejamento da Capacidade, que por sua vez os encaminha para o controle de chão de fábrica.

Módulo de Cálculo de Necessidade de Capacidade (CRP – *Capacity Requirements Planning*): Este módulo permite identificar futuras necessidades de capacidade com antecedência suficiente para se poder provê-las, assim como identifica também possíveis

ociosidades futuras. Estas identificações são feitas tendo como base os requisitos de peças para produção futura fornecidos pelo MRP. Utilizando o conceito de capacidade infinita, este módulo desenvolve um perfil de utilização dos recursos produtivos, tais como: homens, máquinas etc e emite relatórios mostrando os carregamentos da produção projetadas nos diversos centros de trabalho *versus* suas respectivas capacidades.

Módulo de Controle de Fábrica (SFC – *Shop Floor Control*): É o responsável pelo seqüenciamento das ordens, por centro de produção, dentro de um período de planejamento e pelo controle da produção, no nível da fábrica. É este o módulo que busca garantir que o que foi planejado será executado da forma mais fiel possível aos planos.

Controle de Inventário: Este subsistema fornece informações sobre a disponibilidade de componentes para o controle de chão de fábrica, antes de prover a liberação de ordens, assim como dá o estado presente do inventário para o MRP.

Compras: Um dos resultados obtidos no módulo MRP, ou seja, os requisitos de compras de matérias-primas e componentes são direcionados para este subsistema. Aqui são controladas a liberação e o acompanhamento das ordens de compra e o desempenho dos fornecedores. Caso seja identificado algum problema na programação de compras, este subsistema realimenta os módulos de planejamento para as devidas providências.

Relatórios de Performance: Alimentado por informações do Controle de Chão de Fábrica e Controle de Inventário, este subsistema, o qual exerce diversas funções, emite relatórios de utilização e eficiência, de custos, de qualidade, de desempenho da programação da produção etc.

Além destes, existem outros módulos como o de Atualização dos Dados Cadastrais, que se ocupa de alterações quanto aos dados de itens de estoque, estruturas de produtos, centros produtivos, roteiros de produção etc e a Base de Dados de Engenharia, que armazena informações usadas em vários subsistemas do MRP II.

Em termos genéricos, os principais passos ou etapas de um sistema MRP II podem ser resumidos da seguinte forma:

- Parte-se das necessidades de entrega dos produtos finais (quantidades e datas);
- Calculam-se, para trás, no tempo, as datas em que as etapas do processo produtivo devem começar e terminar;
- Determinam-se os recursos, e respectivas quantidades, necessárias para que se execute cada etapa.

A figura. 2.4, abaixo, mostra as inter-relações entre os módulos principais de um sistema MRP II típico.

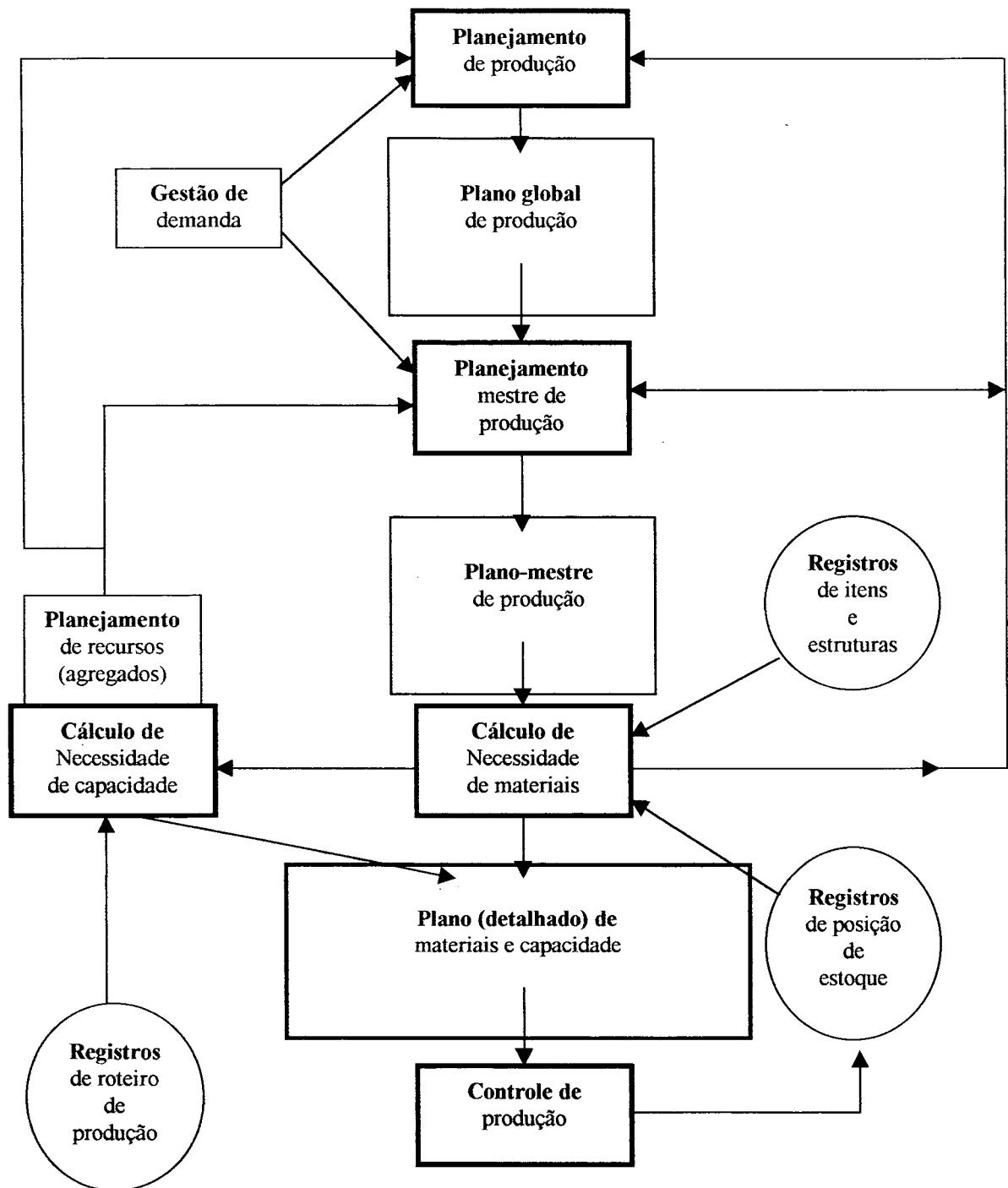


Fig. 2.4- Inter-relações entre os módulos de um sistema MRP II típico[SANTOS, 1997].

O objetivo principal do MRP II é permitir o cumprimento dos prazos de entrega dos pedidos dos clientes com mínima formação de estoques, planejando as compras e a produção de itens componentes, para que ocorram apenas nos momentos e nas quantidades necessárias. Seu princípio básico é, como dito anteriormente, o cálculo de necessidades, uma técnica de gestão que permite o cálculo, através do computador, das quantidades e dos momentos em que são necessários os recursos de manufatura (materiais, mão-de-obra, máquinas e equipamentos, entre outros) para que se cumpram os programas de entrega de produtos, com um mínimo de formação de estoque[CORRÊA, 1988].

Neste aspecto, o MRP II pode ser considerado um sistema proativo, dado que evita a manutenção de estoques, a não ser aqueles destinados a eventualidades (estoque de reserva). As quantidades dos itens que serão necessárias à produção, são adquiridas (compradas, montadas ou fabricadas) apenas numa data tal que estejam disponíveis no momento certo de serem usadas na produção. Desta forma, se levarmos em conta que a capacidade da empresa de produzir a baixo custo influencia diretamente sua posição competitiva, o MRP II parece ser uma boa opção ao gerar um plano capaz de definir que os materiais sejam adquiridos ou fabricados para estarem disponíveis na hora em que efetivamente serão utilizados, evitando a manutenção de estoques desnecessários e, conseqüentemente, os custos operacionais e financeiros decorrentes[COSTA, 1996]. Já nos sistemas de controle de estoque para demanda independente, as ações são tomadas com base em uma data (Sistema de Reposição Periódica) ou numa quantidade remanescente (Sistema de Revisão Contínua); como estes sistemas exigem a manutenção permanente de estoques, são considerados reativos[MOREIRA, 1998].

Como objetivos estratégicos, o MRP II enfatiza a redução de custos; uma maior eficiência do sistema produtivo como um todo, através do planejamento e controle dos estoques, e uma efetiva integração das diversas atividades da empresa por meio de computadores. Embora este sistema forneça mecanismos para checar os planos de materiais contra os recursos de fábrica e identifique áreas com problemas enquanto o plano de produção é executado, quando aplicado em ambientes de produção sob encomenda não trazem bons resultados, já que é um sistema de planejamento “infinito”, ou seja, não considera as restrições de capacidade quando das explosões de materiais. Mais ainda, o MRP II é um sistema no qual a tomada de decisão é bastante centralizada, sendo muito útil como uma base de informações para a empresa, mas deixando a desejar como um

programador de chão de fábrica, pois limita as responsabilidades e compromimentos que se espera da mão-de-obra, inclusive na sua capacidade de resolução local de problemas.

Outro fato, que inviabiliza sua aplicação em ambientes de produção sob encomenda, diz respeito aos tempos de ressuprimentos (*lead times*) dos itens, que no MRP II são dados de entrada e fixos. Se um item é comprado, o *lead time* refere-se ao tempo decorrido desde a colocação do pedido de compra até o recebimento do material comprado. Se se trata de item fabricado, o *lead time* refere-se ao tempo decorrido desde a liberação de uma ordem de produção até que o item fabricado esteja pronto e disponível para uso. Isto significa que se devem avaliar estes tempos *a priori* da programação, como se fossem atributos dos próprios itens e pudessem ser estimados com base no comportamento médio dos postos de trabalho. Mais ainda, deve-se considerar inclusive os tempos de fila, que paradoxalmente são decorrentes da forma que se usa para fazer a própria programação. Na produção sob encomenda, isto é muito complicado.

Na lógica de planejamento do MRP II, as datas dos pedidos são consideradas também dados de entrada; e embora a programação das atividades seja feita a partir da data de entrega acordada com os clientes, ou seja, subtraindo-se destas os tempos necessários à produção ou compra dos diversos componentes, pode-se afirmar que a pontualidade da entrega não é enfatizada como primeiro objetivo estratégico, já que diversos procedimentos elementares para a garantia das datas de entrega não são considerados[COSTA, 1996]. O principal fato para esta afirmação é que, no curto prazo, o MRP II não se preocupa em planejar e nivelar, realística e antecipadamente, a capacidade produtiva necessária de modo a atender a contento o processamento da carteira de pedidos.

A lógica adotada parte do pressuposto de que, no instante da programação do chão de fábrica, todos os grandes problemas referentes a capacidade já foram identificados e solucionados por análise prévia de médio e longo prazos. Para os tempos de fila, considera-se que estes podem ser estimados com pequenas margens de erro. Estas duas suposições são válidas em ambientes de produção repetitivas em massa e repetitivas em lote, onde a produção é estável ou relativamente estável e o carregamento dos vários postos, centros ou setores de trabalho, ao longo do horizonte de planejamento, é praticamente homogêneo.

Nos ambientes de produção sob encomenda, a variabilidade de produtos fabricados é grande, a quantidade produzida por produto é pequena e os roteiros de

fabricação são distintos, para cada produto em particular. Conseqüentemente, os tempos de fila decorrem do carregamento global e instantâneo da fábrica, não existindo uma estabilidade nos níveis de estoque em processo que permita identificar um processamento típico nos postos de trabalho. Pode-se afirmar, portanto, que na produção sob encomenda, onde o fluxo produtivo não é estável e muito menos homogêneo, aqueles pressupostos são inconsistentes.

Assim, tentar implantá-lo na produção sob encomenda é incorrer em sério e graves problemas, especialmente no chão de fábrica, onde o plano gerado, refletindo premissas falsas para estes ambientes, se distancia ou distorce sua realidade. Para amenizar as discrepâncias e corrigir os erros pertinentes, necessita-se de constantes interferências e ações gerenciais, muitas delas utilizando-se mecanismos manuais ou baseadas na intuição. Porém, o elevado número de hipóteses de seqüenciamento, horas-extras, subcontratações de tarefas, antecipações, cancelamentos de pedidos, entre outras, torna esta tarefa árdua e sem uma avaliação consistente de custo-benefício.

Portanto, a combinação da técnica de programação pela “data mais tarde” e planejamento com “capacidade infinita”, utilizada pelo MRP II, expõe a grande risco os objetivos que são estratégicos na produção sob encomenda e tende a sobrecarregar o chão de fábrica com um grande volume de decisões diárias de seqüenciamento e ajustes de capacidade[SANTOS, 1997].

2.4 O *JUST IN TIME* EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA

O *Just In Time*, em seu aspecto mais básico, significa produzir somente os bens e serviços necessários, exatamente nas quantidades requeridas e no momento exato em que são solicitados. Não antes, nem demais, para que não se transformem em estoque, e não depois, nem menos, para que seus clientes não tenham que esperar. Além disso, devem ser produzidos com qualidade e eficiência. Neste sentido, o JIT pode ser definido como uma abordagem da gestão da produção que visa a atender à demanda, instantaneamente, com

qualidade perfeita e sem desperdícios[BICHENO, 1991]. Mais ainda, o *Just In Time* é uma abordagem disciplinada, que visa aprimorar a produtividade global e eliminar os desperdícios. Ele possibilita a produção eficaz em termos de custo, assim como o fornecimento apenas da quantidade necessária de componentes, na qualidade correta, no momento e locais desejados, utilizando o mínimo de instalações, equipamentos, materiais e recursos humanos, o que depende do balanço entre a flexibilidade do fornecedor e a flexibilidade do usuário. Para tanto, conta com o envolvimento e o comprometimento dos recursos humanos, além do trabalho em equipe[TEIXEIRA, 1996][VOSS, 1987].

Vale ressaltar, porém, que nenhuma definição de JIT engloba todas suas nuances, possibilidades e implicações para a gestão de operações; o que é feita, em geral, com frases e termos, dentre os quais podem-se citar: manufatura de fluxo contínuo, manufatura de alto valor agregado, produção sem estoque, produção enxuta, manufatura de tempo de ciclo reduzido, manufatura veloz, dentre outras.

Muito embora o JIT adote uma expressão ocidental, constitui uma filosofia e uma série de métodos ou técnicas desenvolvidas pelos japoneses em meados da década de 70. O termo filosofia é aplicado nesta forma de abordagem de planejamento e controle da produção, já que inclui aspectos de administração de materiais, gestão da qualidade, arranjo físico, projeto do produto, organização do trabalho, gestão de recursos humanos etc.

Além disso, o JIT dá uma visão clara, a qual pode ser utilizada para guiar as ações dos gerentes de produção na execução de diferentes atividades em diferentes contextos; prega a eliminação do desperdício, definido como qualquer atividade que não agrega valor; o envolvimento dos funcionários na produção e o esforço de aprimoramento contínuo, razões-chave que definem a essência da filosofia JIT e o distingue de outras abordagens de aprimoramento de desempenho de empresas.

Seus princípios básicos e seu desenvolvimento são atribuídos, principalmente, à *Toyota Motor Company*, cuja estratégia era aproximar, cada vez mais, a manufatura de seus clientes e fornecedores, fazer bem as coisas simples, fazê-las cada vez melhor e eliminar todos os desperdícios em cada passo do processo. Na verdade, as idéias básicas e os desenvolvimentos embrionários da *Toyota* e de outras empresas japonesas, em relação ao JIT, foram, sem dúvida, incentivados pela cultura e conjuntura econômica japonesas. A atitude do Japão em relação ao desperdício (*Dê importância a cada grão de arroz*), associada à sua condição de país superpovoado e escasso em diversos recursos

naturais, forneceram condições ideais para o surgimento e o desenvolvimento de uma filosofia de manufatura que enfatizasse pouco ou nenhum desperdício e alto valor agregado[SLACK e outros, 1997].

A figura 2.5, abaixo, dá uma visão geral do JIT, como uma filosofia, um conjunto de técnicas e um método de planejamento e controle:

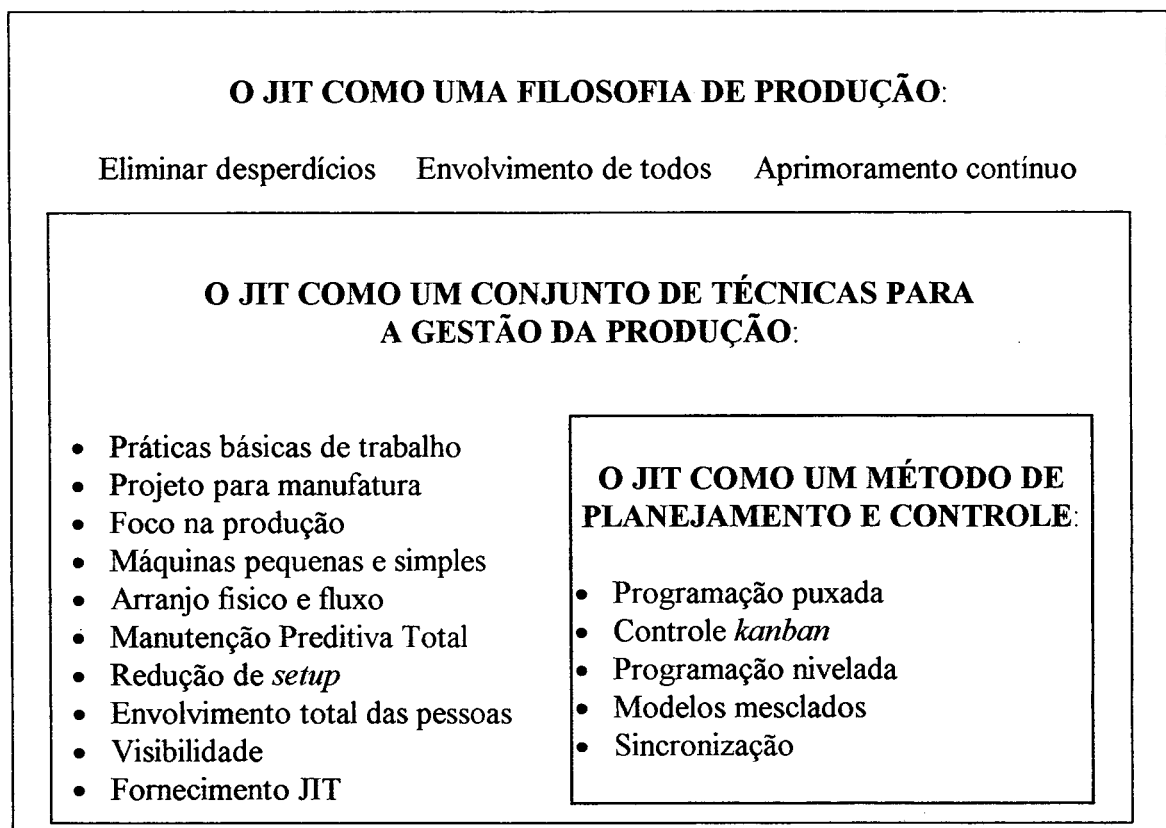


Fig. 2.5- O JIT como uma filosofia, um conjunto de técnicas e um método de planejamento e controle.

O sistema JIT tem como objetivo fundamental a melhoria contínua do processo produtivo. Neste sentido, o JIT está embasado em preceitos que são: redução do tempo de passagem das peças, redução dos tempos de preparação (*setup*), simplificação do planejamento da produção e de materiais e facilidade de controle do chão de fábrica[SANTOS, 1997]. Além destes, podem-se citar também: a eliminação de

desperdícios, os quais não agregam valor ao produto; manufatura de fluxo contínuo; esforço constante na busca da visualização, resolução e eliminação de problemas, através de esforços concentrados e priorizados e produção sem, ou com mínimo, estoque. A principal forma de abordar estas questões é através de mecanismos de redução de estoques, os quais tendem a camuflar quase todos os problemas. E este preceito é atingido pela eliminação das causas geradoras da necessidade de se manterem os estoques, quais sejam: eventual dificuldade de coordenação entre a demanda de um item e seu processo de obtenção e a presença de incertezas.

O JIT encara os estoques como um paliativo, um “manto negro” que recai sobre o sistema de produção, evitando que os problemas sejam descobertos; sejam eles problemas de qualidade, de preparação ou de quebra de máquina. Obviamente, as empresas que adotam a filosofia JIT reconhecem a necessidade de algum estoque em processo para que a produção possa fluir; contudo, esta necessidade é, em geral, bem menor do que se observa na realidade.

A aplicação do sistema JIT, no entanto, é voltada para um ambiente de manufatura repetitiva, do tipo processos repetitivos em massa e processos repetitivos em lote, não se adequando, portanto, ao ambiente de produção sob encomenda. Mais ainda, a filosofia JIT não enfatiza, clara e explicitamente, a questão da pontualidade entre suas metas ou seus objetivos estratégicos que são: zero defeitos, *setup* zero, estoque zero, movimentação zero, quebra zero, *lead time* zero e lote unitário[CORRÊA e GIANESI, 1996]. A priorização de objetivos estratégicos, de um modo geral, é uma consideração que depende da empresa, em particular, de seus produtos e dos particulares nichos de mercado que se pretenda atingir. E no caso das empresas que trabalham com produção sob encomenda o cumprimento ou a pontualidade nos prazos de entrega é um objetivo estratégico de fundamental importância. Paradoxalmente, o ideal do JIT é produzir, simplesmente, o item solicitado, na quantidade exata, no tempo certo, com qualidade e eficiência, objetivando uma redução de custos e não como uma estratégia de pontualidade. Na verdade, o JIT se estrutura em torno das idéias de redução de custos e aumento da taxa de retorno financeiro. Em termos filosóficos, as diferenças mais significativas em relação à lógica do MRP relacionam-se à associação deste objetivo (baixo custo) e a meta de responder com rapidez e quantidade aos movimentos do mercado, valorizando-se a simplicidade e a racionalidade. Em termos gerais, o JIT incentiva um sistema de

planejamento e controle “puxado”, enquanto o MRP é um sistema “empurrado”, tendo objetivos que vão além da atividade de planejamento e controle da produção, enquanto o MRP é essencialmente um mecanismo de cálculo para o planejamento e controle.

Outra grande limitação, quanto à utilização do JIT na produção sob encomenda, está relacionada à estabilidade da demanda e a faixa de produtos. Para a implementação da filosofia JIT, impõe-se que a demanda seja razoavelmente estável ao longo do tempo e a faixa de produtos relativamente estreita. O JIT não se sente confortável com alta complexidade. Ele se desempenha melhor nos casos em que as estruturas de produtos são relativamente simples, a demanda é relativamente previsível, preferencialmente nivelada, e os fluxos de materiais são claramente definidos[SLACK e outros, 1997]. Na produção sob encomenda, pela sua própria dinâmica, é inviável a perspectiva de se contar com uma demanda estável. Um paliativo para a questão da estabilidade da demanda, quando esta não é uma característica do mercado a ser atendido, é formar um estoque de produtos finais[CORRÊA e GIANESI, 1996]. A adoção deste recurso dá certa independência à produção, possibilitando um regime mais estável, adequado ao conjunto de princípios da filosofia JIT. Ainda assim, no caso da produção sob encomenda, este paliativo é impraticável, já que não se pode fabricar para estoque. No caso do fluxo de materiais, este também é imprevisível, pelo menos até que se confirme o pedido junto ao cliente. Mais ainda, como o JIT dá ênfase ao fluxo de materiais, incentivando a velocidade de passagem deles pela fábrica, o ideal é que os produtos sejam relativamente padronizados e produzidos em grande quantidade, o que, mais uma vez, não é o caso na produção sob encomenda. E mais, na produção sob encomenda, as empresas obtêm vantagens competitivas com base na variabilidade ou diversidade dos produtos. Como a produção é pouco repetitiva, a organização da produção, baseada no JIT, é excessivamente dificultada.

Dentre as ferramentas abordadas pelo JIT, aquelas que devem ser enfatizadas são: a estruturação de um *lay-out* celular, o nivelamento da produção e o acionamento da produção por *Kanban*.

O arranjo físico adotado pelas empresas que utilizam o sistema JIT, em geral, é o arranjo físico celular, no qual os equipamentos, dedicados a um ou poucos produtos similares, estão dispostos segundo o roteiro de produção destes produtos. As vantagens da organização celular são inúmeras. Dentre outras, podem-se destacar: a economia de tempos ligados à movimentação de materiais e preparação de máquinas; utilização de mão-de-obra

multifuncional; melhor ocupação do espaço físico; melhor controle visual das operações, reduzido estoque em processo, limitando-se, no caso ideal, ao material que está sendo processado em determinado momento e o melhoramento contínuo, pela aprendizagem, padronização e especialização.

No entanto, na produção sob encomenda, o *lay-out* que melhor se adequa é o *lay-out* por processo ou funcional. Este arranjo permite a produção de uma maior variedade de produtos, fluxos de materiais variáveis e roteiros de produção diversos, como é o caso em estudo. Adotar uma abordagem celular, na esporádica produção de uma grande variedade de produtos, faz com que os recursos financeiros necessários sejam enormemente elevados, já que cada tipo de produto requererá um conjunto de recursos produtivos dedicados. As conseqüentes desvantagens em relação ao *lay-out* funcional ou por processo são imediatas. Entre outras, podem-se citar os elevados investimentos necessários, pois cada tipo de produto solicitará um conjunto de recursos dedicado; e há, na produção sob encomenda, quase sempre, uma grande diversidade de tipos de produtos feitos esporadicamente; e uma elevada relação custo-benefício dos investimentos feitos, já que cada conjunto de recursos, estando dedicado à fabricação esporádica de um determinado produto, será sub-utilizado, gerando expressiva ociosidade.

O nivelamento da produção é uma tentativa de homogeneizar o fluxo de materiais, fazendo-o aproximar-se do fluxo contínuo. Integrando-se toda a fábrica num fluxo contínuo de produção, o sistema JIT consegue aplicar os princípios das linhas de produção, reconhecidamente o processo mais eficiente de produzir, não só na montagem final dos produtos, mas também nas operações de sub-montagens e fabricação de componentes. Como a montagem final puxa todas as demais linhas de suprimentos, a sua programação é a única ordem de produção existente no JIT. Como consequência, praticamente tudo na fábrica se estrutura em torno daquela programação, o que requer que ela seja estável, pelo menos por um certo período de tempo relativamente longo, ou o suficiente para produzir uma quantidade apreciável de produtos para a qual a linha foi criada, ou adaptada. Na produção sob encomenda, a estabilidade de um programa de produção é quase impossível, visto que a produção é pouco repetitiva, há uma grande variabilidade ou diversidade de produtos e não se pode fabricar para estoque.

Por fim, o acionamento da produção por *kanban*, que é um termo japonês e que pode significar cartão, muito embora possa-se utilizar outros meios, que não cartões,

para passar as informações. Este cartão age como disparador da produção de centros produtivos em estágios anteriores do processo de fabricação, coordenando a produção de todos os itens de acordo com a demanda de produtos finais[CORRÊA e GIANESI, 1993]. Para tanto, parte-se do princípio de que puxando-se a produção, se estabelece um fluxo produtivo estável e balanceado. Além disso, se garante, como planejado, a manutenção do nível de estoque em processo. Vale ressaltar, no entanto, que esta lógica é válida se se pressupõe que cada estágio seja capaz de reagir com a necessária rapidez à solicitação do estágio seguinte. Neste caso, são, em geral, mantidos estoques de semi-acabados, entre estágios vizinhos, objetivando-se minimizar este tempo de resposta[COSTA, 1996]. Na produção sob encomenda, entretanto, a baixa repetitividade dos produtos fabricados, faz com a manutenção de estoques de semi-acabados, nos estágios intermediários de produção, se torne por demais arriscada e onerosa.

2.5 A OPT EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA

A OPT (*Optimized Production Technology* ou Tecnologia de Produção Otimizada) é uma técnica computadorizada de gestão da produção desenvolvida no final da década de 70; e, embora tenha cada vez mais ocupado espaços em publicações técnicas e científicas de Administração e Engenharia de Produção, encontra-se, ainda, em pleno desenvolvimento, notadamente no Brasil, onde considera-se sua penetração ainda incipiente. A concepção da lógica e dos princípios da OPT, técnica que leva em conta as restrições de capacidade ou gargalos de produção, deve-se a um grupo de pesquisadores israelenses, sendo Eliyahu Goldratt e Cox os principais responsáveis pelo seu desenvolvimento e marketing. Esses pesquisadores são também considerados os precursores da estruturação da teoria das restrições, que se constitui num conjunto de regras ou conceitos, tendo como base o princípio do gargalo; princípio este que vem despontando como uma alternativa à lógica convencional de planejamento e programação da produção, especialmente àquela dada pelo MRP. Utilizando, simultaneamente, a lógica da programação finita da rede de atividades; a estrutura do produto, dada pela lista de materiais e a estrutura do processo,

dada pelas rotinas de operações, torna-se viável a análise em paralelo entre a capacidade produtiva e o seqüenciamento da produção[TUBINO, 1997]. Por esta forma de planejar e programar, levando em conta as disponibilidades de recursos e de materiais, ao mesmo tempo, a OPT é considerado, por alguns autores, mais completo que o MRP II.

Muito embora o nome desta técnica nos leve a pensar que se encontrem soluções otimizantes, não se trata, em absoluto, de uma técnica de otimização, do ponto de vista matemático ou no sentido científico do termo. Pode-se dizer, no entanto, que estamos falando de soluções ótimas-eficientes. Ou seja, como se trabalha com procedimentos heurísticos, muitos dos quais os proprietários dos direitos de exploração do sistema nem mesmo tornaram públicos até o momento, não se garantem soluções ótimas, matematicamente falando, e sim, soluções próximas do ótimo, também denominadas ótimas-eficientes.

A técnica OPT, que engloba o planejamento e a programação da produção, defende que o objetivo básico e principal das empresas, em geral, é ganhar dinheiro. E, neste sentido, a manufatura, para atingir ou contribuir com este objetivo, deve atuar, principalmente, sobre três elementos: o fluxo de materiais que passa pela fábrica, dado pela taxa segundo a qual o sistema gera dinheiro através da venda de seus produtos; os estoque, quantificado pelo dinheiro que a empresa empregou nos bens que pretende vender; e despesas operacionais, dado pelo dinheiro gasto para transformar estoque em fluxo[CORRÊA e GIANESI, 1993].

Em resumo, a lógica dada pela OPT seria: para a empresa ganhar mais dinheiro, é necessário, a nível de fábrica, aumentar o fluxo e reduzir estoques e despesas operacionais, simultaneamente. Isto, segundo os defensores da OPT, seria suficiente para aumentar o lucro líquido, o retorno sobre os investimentos e o fluxo de caixa.

Os elementos citados acima são também considerados como medidas de desempenho, pois constituem a melhor maneira para aferir se a empresa está, ou não, ganhando dinheiro, já que o conceito filosófico da OPT é apresentado, quase sempre, baseado em performance financeira. Neste sentido, a meta é aumentar a receita, explorando, ao máximo, as restrições de capacidade do sistema, a fim de proteger ou aumentar o volume de vendas. Aliás, o objetivo filosófico da OPT, de garantir ou aumentar o volume de vendas, é claramente explicitado na noção de gargalo; sua lógica, bastante semelhante

àquela adotada nos sistemas MRP para avaliar a carga alocada em cada recurso, ou seja, carga *versus* capacidade, demonstra explicitamente esta vinculação.

A operacionalização da logística OPT é feita utilizando-se a tática de abordagem dos gargalos de produção, os quais são pontos do sistema produtivo, como por exemplo: máquina, transporte, espaço físico, mão-de-obra, demanda etc, que limitam o fluxo de itens no sistema; isto é, a demanda solicitada ou imposta ao recurso gargalo é maior que sua capacidade de processamento. Simultaneamente, os demais recursos não-gargalos suportam esta mesma demanda em termos de capacidade. Numa analogia hidráulica, o gargalo seria a menor seção da tubulação, a restrição a um eventual aumento da vazão. Como consequência, uma hora perdida num recurso gargalo, por exemplo, significa uma hora perdida por todo o sistema produtivo, já que é o recurso gargalo que limita a capacidade de fluxo do sistema global.

Assim, partindo-se do pressuposto de que os recursos de manufatura podem ser divididos em recursos gargalos e não-gargalos e de que a maneira como eles se relacionam estabelecem o fluxo produtivo e definem os custos com estoques e com despesas operacionais, a OPT estabeleceu um conjunto de 10 regras, enunciados, ou princípios, utilizados para direcionar as questões relativas ao seqüenciamento de um programa de produção, quais sejam[MELLO, 1994]:

1. Balancear o fluxo e não a capacidade;
2. A utilização de um recurso não-gargalo não é determinada por sua disponibilidade, mas por alguma outra restrição do sistema;
3. Utilização e ativação de um recurso não são sinônimos;
4. Uma hora ganha num recurso gargalo é uma hora ganha para o sistema como um todo;
5. Uma hora ganha em um recurso não-gargalo não é nada, é apenas uma miragem;
6. O lote de transferência pode não ser e, muitas vezes não deveria ser, igual ao lote de processamento;
7. O lote de processamento deve ser variável e não fixo;
8. Os gargalos não só determinam o fluxo do sistema, como também definem seus estoques;
9. A programação das atividades, bem como a capacidade produtiva, devem ser consideradas simultaneamente e não seqüencialmente. Os *lead-times* são um resultado da programação, não podendo ser assumidos *a priori*;

10. A soma dos ótimos locais não implica, necessariamente, no ótimo global.

Como pode-se observar, através dos princípios acima, a OPT almeja uma ocupação de 100% do recurso gargalo; os recursos não-gargalos são ocupados como consequência da ocupação do gargalo. Para tanto, o planejamento tem início nos gargalos, ocupando-se a carga disponível da melhor forma possível. A seguir, terminada a programação dos gargalos, fazem-se duas programações: uma programação para trás, levando-se em conta os recursos posicionados antes dos recursos gargalos no fluxo produtivo; e uma programação para frente, abrangendo-se aqueles recursos posicionados depois dos recursos gargalos.

Pode-se dizer, portanto, que naquelas situações onde se verificam produtos e um *mix* de produção relativamente estáveis, a aplicação do OPT se mostra adequada e bastante consistente. Naquelas situações, por sua vez, onde a variabilidade de produtos é grande e a repetitividade é baixa, características inerentes a, praticamente, todo ambiente de produção sob encomenda, a filosofia OPT tem aplicação, no mínimo, questionável. Mais ainda, como a OPT advoga contra o balanceamento de capacidade e a favor de um balanceamento do fluxo de produção na fábrica, fica evidente a ênfase dada ao fluxo de materiais e não à capacidade dos recursos. Neste sentido, a OPT é tão mais útil quanto mais contínuo for o sistema; e este não é o caso na produção sob encomenda. Nestes ambientes, a produção é tão inconstante ou tão instável, que, praticamente, inexiste um fluxo de materiais propriamente dito. O que caracteriza o ambiente de produção sob encomenda no que tange ao fluxo de materiais é uma movimentação irregular, esporádica ou intermitente dos materiais através do chão de fábrica. Assim, pode ser extremamente enganosa a utilização de uma técnica, voltada para um modelo contínuo, para representar um problema cuja natureza é intrinsecamente discreta.

Na produção sob encomenda, também, é bem mais difícil a identificação precisa dos gargalos, em função dos produtos que estão sendo produzidos; o que se verifica é a geração de vários gargalos que se movem, ou podem se mover, constante e instantaneamente pelos recursos produtivos em função do *mix* de produção em vigor, como também em função das prioridades de processamentos adotadas. Isto é fácil de ser percebido se levarmos em conta que cada pedido requer um conjunto de recursos produtivos e tem o seu próprio caminho crítico e que, quase sempre, é totalmente diferente daquele que é crítico para um outro pedido. Na prática se conclui, portanto, que

produzindo-se uma grande diversidade de produtos simultaneamente e havendo uma competição pelos mesmos recursos produtivos, tenderá a haver uma profusão de gargalos, que variam conforme os pedidos e os processos de fabricação[COSTA, 1996].

Além disso, como um dos objetivos estratégicos da produção sob encomenda é a pontualidade, os gargalos devem ser considerados, não pura e simplesmente de uma forma absoluta, como uma restrição ao fluxo; mas sim, como uma restrição ao alcance daquele objetivo estratégico. Como, quase sempre, o que dificulta o cumprimento dos prazos de entrega acordados para um pedido não é o recurso produtivo de maior utilização na fábrica, mas aqueles recursos que, mesmo não sendo um gargalo de capacidade na manufatura, retêm em filas ocasionais as operações que estão no caminho crítico de uma dada ordem de produção, a noção de gargalo deve ser deslocada da idéia de criticidade dos recursos para uma perspectiva de criticidade das operações, semelhante e considerada pelo PERT[SANTOS, 1997].

Deve-se destacar, no entanto, que a questão da pontualidade nos prazos acordados não é ainda considerada, explicitamente, como o principal objetivo estratégico da OPT, muito embora enfatize-se a geração de programas de fábrica que sejam factíveis diante dos limites de capacidade produtiva existentes, ao contrário do que acontece no MRP.

2.6 O PERT/CPM EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA

Um projeto é um conjunto de atividades que tem um ponto inicial e um estado final definidos, que persegue uma meta estabelecida e que usa um conjunto definido de recursos. Em geral, se apresenta de muitas e variadas formas, de diversos tamanhos e pode ser caracterizado sob duas vertentes: complexidade e incerteza. Projetos com grande incerteza são difíceis de planejar, enquanto que os de alta complexidade são particularmente difíceis de controlar. Nos processos típicos por projetos, caso da produção sob encomenda, a principal questão a ser resolvida pelo PCP, e em particular pelo sequenciamento das atividades, está ligada a alocação dos recursos restritos disponíveis no sentido de garantir a

data de sua conclusão[TUBINO, 1997], já que a conclusão na data estipulada é um objetivo estratégico de suma importância. Vale ressaltar que algumas empresas, apesar de negociarem seus produtos sob encomenda, isto é, só produzirem após receber o pedido do cliente, não se enquadram neste tipo de processo por projeto aqui considerado, pois, muitas vezes, os pedidos se repetem muito freqüentemente com o tempo, seguem roteiros padronizados e possuem tempos de execução curtos, como por exemplo, os fabricantes de embalagens plásticas. Para estes casos, os processos repetitivos em lote se aplicam melhor.

Assim, para os processos por projeto, a técnica mais empregada para planejar, seqüenciar e acompanhar as atividades, de forma que cada uma delas tenha seu início e conclusão encadeadas com as demais que estarão ocorrendo em seqüência, e/ou paralela com a mesma, é a técnica conhecida como PERT/CPM. A partir da década de 90, esta técnica passou a ser considerada uma das sete novas ferramentas da qualidade e produtividade. Mais ainda, uma das sete ferramentas para o planejamento e administração visando ao aprimoramento contínuo da qualidade e produtividade, competências essenciais à competitividade exigida das empresas pelo mundo atual[CUKIERMAN, 1993].

Muito embora esta técnica, considerada por muitos como um poderoso instrumento de administração e aplicada com sucesso a projetos de qualquer natureza, como: lançamento de novos produtos, projetos educacionais e produções teatrais, tradicionalmente, está ligada ao planejamento de grandes projetos não estritamente fabril, os quais podem se destacar exemplos clássicos na construção civil, naval, aeroespacial, projetos agrícola etc, citados na literatura pertinente. Este detalhe, digamos “cultural”, faz com que o PERT/CPM, até hoje, encontre dificuldades para a sua efetiva implementação na indústria, pois tendo sido concebido para o planejamento de grandes projetos (Projeto *Polaris*, Projeto *Apollo*, Projeto *Airbus* etc), os sistemas computacionais PERT/CPM incorporam a visão, a modelagem e a linguagem próprias e inerentes a gestão de projetos, mas não assimilam bem a cultura fabril, propriamente dita.

O PERT (*Program Evaluation and Review Technique* ou Avaliação de Programa e Técnica de Revisão) teve sua origem em planejamento e controle de grandes programas de defesa da Marinha Norte-Americana e construção civil em meados dos anos 50. O primeiro grande sucesso relatado foi o término do programa do míssil *Polaris* dois anos antes da data programada, em 1958. Neste programa, onde cerca de 10.000 empresas, entre contratantes e subcontratantes que fabricariam cerca de 70.000 peças diferentes,

tinham de ser coordenadas e necessitavam se comunicar numa mesma linguagem, o método reduziu de cinco para três anos a duração total do projeto.

O CPM (*Critical Path Method* ou Método do Caminho Crítico) foi desenvolvido, independentemente, pela DUPONT e UNIVAC mais ou menos na mesma época do PERT (1957/1958) como uma técnica de programação para a construção, manutenção e desativação de fábricas de processos químicos. No PERT predominam os chamados tempos probabilísticos, ou seja, as estimativas de tempos não podem ser feitas com certeza e no CPM, os chamados tempos determinísticos, ou ainda, onde os tempos das operações podem ser conhecidos com certeza, não havendo maiores vantagens práticas em considerá-los como dois sistemas diferentes.

Com o tempo, as diferenças entre as duas técnicas foram se atenuando e a partir de 1962 estes sistemas, considerados complementares, se acham integrados sob a denominação PERT/CPM, sendo definido como um conjunto de processos e técnicas para planejamento, programação e controle de um empreendimento ou operação ou projeto, tendo como característica fundamental a indicação, dentre as várias seqüências operacionais, daquela que possui duração máxima, além de permitir a indicação de graus de prioridade relativos, demonstrando distribuição de recursos e interdependência entre as várias ações necessárias ao desenvolvimento do projeto[ABNT, 1972].

No entanto, os tempos requeridos para as realizações das atividades, as relações de precedência e sucessão entre elas e os recursos necessários para concretizá-las são todos dados, em princípio, incertos, já que muitas vezes o projeto em si ou sua parte mais expressiva refere-se a coisas novas ou específicas que nunca foram feitas. A principal consequência de tudo isso é que a definição de um plano ou programa de produção tem, quase sempre, um alto grau de incerteza.

Para atenuar este efeito, o projeto deve, necessariamente, passar por aquilo que é denominado: ciclo básico de análise de um projeto, o qual é realizado em duas fases[COSTA, 1996]:

- Fase 1: Construção e avaliação da rede de planejamento
 1. Construir um diagrama, um grafo, uma rede de planejamento ou uma rede de atividades para representar o projeto a ser desenvolvido, indicando a seqüência correta de execução e as relações de precedência e sucessão entre as atividades que compõem o projeto;
 2. Determinar e indicar na rede de planejamento a duração de cada atividade;

3. Realizar os cálculos de avaliação da rede determinando as datas mais cedo e mais tarde para início e fim de cada atividade, a duração total do projeto e a criticidade das várias operações;
 4. Caso a data prevista para o encerramento do projeto seja mais tarde que a acordada, avaliar as possibilidades de alterações da rede ou a redução da duração de determinadas atividades a fim de que o projeto seja concluído e entregue pontualmente.
- Fase 2: Avaliação e nivelamento da capacidade produtiva
5. Avaliar o nível de utilização dos recursos produtivos verificando se a rede de atividades é viável em termos de capacidade;
 6. Caso haja problemas de capacidade produtiva, tomar as medidas cabíveis tais como: contratação de recursos humanos, adoção de horas-extras, subcontratação, aquisição de máquinas e equipamentos etc, ou resolver o conflito atrasando as atividades com menor prioridade.

As vantagens desta técnica são inúmeras, tanto para os administradores do projeto como para o PCP. Dentre outras, podem-se destacar:

- Fornece uma visão gráfica das atividades que compõem o projeto;
- Dá uma estimativa de quanto tempo o projeto consumirá;
- Permite uma visão de quais atividades são críticas para o atendimento do prazo de conclusão do projeto;
- Fornece uma visão de quanto de folga dispomos nas atividades não-críticas, a qual pode ser negociada no sentido de reduzir a aplicação de recursos e, conseqüentemente, custos.

Além disso, o PERT/CPM, através da rede de atividades, permite representar com mais precisão as flexibilidades do processo produtivo, se comparado com os sistemas MRP e OPT. No caso em estudo, no entanto, a diversidade de produtos traz sérias dificuldades para esta representação, via rede de atividades do projeto, como sugerido pela abordagem PERT/CPM.

De fato, embora conceitualmente seja mais rica que a modelagem convencional MRP e OPT, a multiplicidade e diversidade de projetos e produtos existentes na produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos, torna precária a idéia de representar a flexibilidade do processo de fabricação, item a item, na própria descrição do roteiro de produção. As razões são óbvias, pois no ritmo e pressões do dia-a-dia do chão de fábrica, estas informações não estão, em geral, disponíveis e o custo para

obtê-las no tempo que seria necessária não é, quase sempre, considerado compensador[SANTOS, 1997].

Em termos filosóficos, ao contrário das tecnologias abordadas, o PERT/CPM privilegia como objetivos estratégicos os aspectos relativos ao tempo, como pontualidade e rapidez, muito embora, tradicionalmente, trabalhe-se com apenas um único grande projeto. Projeto este que consome todos os recursos disponíveis.

Na produção sob encomenda, por sua vez, se verifica a ocorrência de vários projetos, simultaneamente, concorrendo pelos mesmos recursos, o que torna mais difícil a aplicação deste método neste tipo de ambiente. Nestas situações, como várias atividades concorrem pelos mesmos recursos produtivos, simultaneamente, as retenções em filas a espera de processamento alteram, ou podem alterar, a criticidade das várias operação. Ou seja, aquelas atividades que porventura tinham folgas podem perdê-las ou simplesmente tornarem-se mais críticas que originalmente, em função de sua baixa prioridade em relação a outras atividades.

Outra dificuldade observada, quanto a sua aplicação na produção sob encomenda, diz respeito a lógica utilizada no nivelamento dos recursos produtivos, que em última análise é bastante semelhante àquela utilizada pelo sistema MRP, isto é: planeja-se com capacidade infinita e ajusta-se esta capacidade num momento posterior. Esta forma de encarar o nivelamento faz com que o PERT/CPM enfrente as mesmas dificuldades experimentadas pelo MRP para tratar situações onde um conjunto variado de produtos ou projetos concorre pelos mesmos recursos de produção, os quais são restritos e escassos. Nestes casos, o seqüenciamento das atividades e a gestão da capacidade produtiva, no curto prazo, são de fundamental importância não devendo ser solucionada através de um procedimento de ajuste final da solução global estabelecida *a priori*.

No próximo capítulo trataremos o PERT/CPM não na sua forma tradicional, capaz de gerenciar redes de atividades, mas sem considerar explicitamente os limites de capacidade e a concorrência entre diferentes projetos, e sim associado a heurísticas que o tornam viável em aplicações onde se requeira um planejamento fino e controle da produção, levando-se em consideração os recursos múltiplos restritos e com uma maior interação entre o PCP e o chão de fábrica.

2.6.1 O MÉTODO CPM

Em 1956, a Companhia *E. I. Du Pont de Nemours* encontrava-se em amplo crescimento, expandindo suas instalações e desenvolvendo suas organizações. No entanto, sofria enormes prejuízos decorrentes da falta de um sistema capaz de planejar, programar e controlar com eficácia. Foi, então, constituído um grupo de pesquisadores cuja incumbência era estudar possíveis aplicações de técnicas de administração no setor de engenharia; tendo sido determinada como prioritárias as áreas de projetos, construção e instalação, cujo planejamento e programação eram extremamente deficitários.

Inicialmente, os pesquisadores trabalharam um modelo teórico que possibilitava, auxiliado por um computador UNIVAC I, gerar uma programação admissível para o projeto, baseado unicamente em informações relativas à seqüência do trabalho e à extensão de cada atividade. No início de 1957, o grupo, agora associado à *UNIVAC Applications Research Center* e à *Remington Rand*, introduziu a primeira grande novidade para a representação do plano de execução dos projetos: o *diagrama de flechas*[HIRSCHFELD, 1973]. Este diagrama permitia demonstrar com maior clareza as inter-relações existentes entre as diversas atividades que compunham o projeto, resultando deste esforço coletivo, as rotinas básicas do atual método CPM. Em dezembro de 1957, foi organizado um grupo-teste para aplicar e avaliar o novo método, então denominado “*Method Kelley-Walker*”, em homenagem a James E. Kelley Jr., da *Remington Rand* e a Morgan R. Walker, associado à *Du Pont*. O método foi aplicado ao projeto e construção de uma indústria química em *Louisville, Kentucky*, e avaliado, por comparação, através dos resultados obtidos por outro grupo que paralelamente realizou o mesmo trabalho, porém utilizando o planejamento convencional. Em março de 1958, ambos os grupos concluíram seus trabalhos após vários replanejamentos, advindos de modificações no projeto original. Como resultado final, o grupo-teste, utilizando o Método Kelley-Walker, agora denominado CPM (*Critical Path Method* ou Método do Caminho Crítico), despendeu, aproximadamente, 10% sobre o esforço previsto originalmente para a execução normal das atividades. O grupo utilizando o planejamento convencional, por sua vez, despendeu cerca de 40% para atingir os mesmos objetivos. A partir deste resultado, o método CPM difundiu-se, desenvolveu-se, gerou outros métodos similares, e hoje, encontra-se fartamente difundido, haja visto a fabulosa bibliografia existente.

2.6.2 O MÉTODO PERT

Após a 2ª. Guerra Mundial e com o advento da *guerra fria*, os Estados Unidos iniciaram, em novembro de 1955, um sistema de defesa chamado “*Fleet Ballistic Missile*”, compreendendo, dentre outros, avançados projéteis balísticos, submarinos nucleares e treinamento de pessoal especializado. Este sistema foi denominado pela Marinha americana simplesmente Projeto *Polaris* (foguetes fabricados pelo Programa de Mísseis Balísticos da Esquadra Aérea).

O Projeto *Polaris*, iniciado em 1955, tinha a sua conclusão prevista para 1963, ou seja, uma duração aproximada de 8 anos. Muito embora não faltassem mão-de-obra, fornecedores e recursos financeiros, tinha-se o receio de que a execução do projeto trouxesse um caos administrativo; e a situação militar, à época, era tal que não permitia, ou não era interessante, atrasar-se o término do projeto. Apenas para ilustrar e avaliar seu porte, o Projeto *Polaris* envolvia cerca de 250 empreiteiros principais e 9000 subempreiteiros. Além disso, inúmeras fontes de fornecimento e muitas agências governamentais estavam envolvidas. Mais ainda, o número de peças diferentes que teriam que ser fabricadas era enorme: cerca de 70.000[BELCHIOR, 1974]. Para agravar ainda mais o contexto, o desenvolvimento de muitas das atividades e a fabricação de grande parte dos componentes jamais haviam sido realizadas, resultando daí um tempo final de execução estimado, baseado em probabilidades.

Depois de pouco mais de 2 anos do início do projeto, em janeiro de 1958, constituiu-se um grupo de trabalho formado pela *Navy's Special Projects Office*, *Lockheed Missile System Division* e *Booz Allen and Hamilton Inc.*, com o objetivo de desenvolver um método de Planejamento, Programação e Controle que permitisse a antecipação na conclusão dos trabalhos previstos. Como resultado inicial deste grupo, foi desenvolvido um método, chamado “*Program Evaluation Research Task*” (Avaliação de Programa e Pesquisa de Tarefas), baseado em diagramas de rede e ênfase na duração das atividades. Estas durações eram introduzidas através de três estimativas de tempo, denominadas: duração otimista, duração mais provável e duração pessimista. Tempos estes incorporados ao atual método PERT.

Em outubro de 1958, o método, agora denominado “*Program Evaluation and Review Technique-PERT*” (ou Técnica de Avaliação e Revisão de Programas), foi

Razões de ordem prática levaram, posteriormente, ao emprego de uma ou de três estimativas de duração nos dois modelos, razão pela qual, a partir de 1962, os modelos se tornaram conhecidos pela sigla PERT-CPM, deixando de haver distinção entre eles.

2.6.3 OUTROS MODELOS

Existem diversas variações dos métodos PERT-CPM, com as mais diversas siglas e características que os tornam indicados para aplicações específicas, ou de acordo com as necessidades das empresas que os desenvolveram. Na verdade, diferem entre si por pequenos detalhes, sem importância fundamental, quando comparados com os modelos PERT-CPM.

Apenas para citar alguns, destacam-se[BELCHIOR, 1974]:

AFSC (*Air Force Systems Command*);

AGREE (*Advisory Group on the Reliability of Electronic Equipment*);

APPRAISE (*Atlas Project Planning, Resource, Allocation and Integrated Schedule Evaluation*);

BEAUJOLAIS (*Batch Evaluation of Aircraft Units for the Joint Orientation of Line Assembly Integrated Units*);

COMET (*Computer Operated Management Evaluation Technique*);

COPS (*Catalytic Optimistic Profit Scheduling*);

COSMOS (*Cost Management Observations*);

CPA (*Cost Planning and Appraisal*);

CPPS (*Critical Path Planning and Scheduling*);

CPS (*Critical Path Scheduling*);

CPT (*Critical Path Technique*);

CRAM (*Contractual Requirements Recording, Analysis and Management*);

CSMS (*Cost and Schedule Monitoring System*);

GAP (Getácio Andrade Pegorin – iniciais do nome do autor);

GERT (*Graphical Evaluation and Review Technique*);

ICON (*Integrated Control*);

IMPACT (*Implementation, Planning and Control Technique*);

LESS (*Least Cost Estimating and Scheduling*);

MPL (*Man Power Leveling*);
MPM (*Metra Potential Method*);
MPS (*Man Power Scheduling*);
PACT (*Prodution Analysis Control Technique*);
PEP (*Program Evaluation Procedure*);
PERT (Processo de Esquematização e Replanejamento de Tarefas);
PERT (Processo de Estudo e Replanejamento de Trabalho);
PERT (*Program Evaluation and Reporting Technique*);
PERT (*Program Evaluation and Review Task*);
PERT (*Program Evaluation Research Task*);
PLUS (*PERT Life-cycle Unified System*);
PORT (*Project Orientation and Rescheduling Technique*);
PRISM (*Program Reliability Information System for Management*);
PROMIS (*Project Management Information System*);
PROMPT (*Program Management Planning Techniques*);
RAMPS (*Resource Allocation and Multi-Project Scheduling*);
RMI (*Reliability Maturity Index*);
ROY (Do nome do autor B. Roy);
RPSM (*Resource Planning and Scheduling Method*);
SCANS (*Scheduling, Control and Automation by Network System*);
SCE (*Schedule Compliance Evaluation*);
SPATS (*Sequence Planning and Time Scheduling*);
SPERT (*Scheduled Performance Evaluation and Review Technique*);
SPPC (Sistema de Planejamento, Programação e Controle);
TARP (Técnica de Avaliação e Revisão de Projetos);
TIPAC (*Texas Instruments Planning and Control*);
TOPS (*The Operational Pert System*);
TRACE (*Task Reporting and Current Evaluation*);
WSCSA (*Weapon System Cost Sensitivity Analysis*);
WSPACS (*Weapon System Programming and Control System*);
WSPC (*Weapon System Planning and Control*).

2.6.4 ÁREAS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO PERT-CPM

A princípio, o método PERT-CPM se aplica a todo e qualquer projeto, empreendimento ou processo que tenha um início e um fim, sendo, deste modo, mais difícil citar os projetos em que o método não possa ou não deva ser usado, do que as áreas em que ele pode ser aplicado. Assim, para não ser extenso na descrição destas áreas, que por mais longas que fossem ainda assim seriam incompletas, limitar-se-á, aqui, à apresentação de algumas características imprescindíveis à aplicação do PERT-CPM. De modo geral, o método PERT-CPM se aplica ao Planejamento, Programação e Controle de execução de projetos de qualquer tipo ou dimensão, desde que apresentem as seguintes características básicas[BELCHIOR, 1974][CUKIERMAN, 1993]:

- 1- O conjunto de atividades que compõem o projeto deve configurar uma rede sem circuitos. Circuitos (*loop*) na rede permitiria que uma atividade desse origem a si mesma;
- 2- Não devem apresentar rotinas de realimentação, processos cibernéticos ou de *feed-back*. Os processos cibernéticos se caracterizam por receber uma informação externa e modificar o seu programa. Ex.: célula viva;
- 3- Não se tenham transformado em um processo repetitivo (produção em série);
- 4- Apresentam mais de um esquema de planejamento;
- 5- O grau de complexidade do projeto justifique o uso do método.

2.6.5 REDES PERT-CPM

Denomina-se *rede pert-cpm* a representação gráfica de um projeto, programa ou empreendimento, onde se apresenta a seqüência lógica do planejamento, bem como as relações de interdependência (antecedência e subsequência) entre as diversas atividades que compõem o projeto. Em geral, coloca-se, também, na rede, as durações (determinada ou aleatória) das atividades, as datas de início e fim de cada atividade, como também, os recursos humanos consumidos por elas e as máquinas e equipamentos utilizados em cada atividade permitindo, assim, uma análise de otimização de tempo e custo, principalmente.

Para a correta construção de uma rede de atividades PERT/CPM se faz necessário conhecer:

- Atividade (ou tarefa): é aquilo que se pretende executar ou a execução efetiva de uma operação. Esta operação consome tempo e/ou recursos. Ex.: montagem, pintura, datilografia, corte, inspeção, usinagem de uma peça, concretagem de uma viga, retirada ou colocação de um rolamento etc.;
- Seqüência das atividades: determina a ordem de antecedência e subsequência entre as diversas atividades que serão executadas;
- Eventos (ou acontecimentos): constituem os marcos que caracterizam determinados instantes do planejamento. Os eventos não consomem tempo nem recursos. Ex.: início da montagem, fim da pintura, início do corte, fim do corte, início da usinagem, fim da concretagem, início da retirada do rolamento, fim da colocação do rolamento etc.
- Duração de cada atividade: tempo que cada atividade consome na sua execução. Para todas as atividades, deve-se utilizar uma mesma unidade de tempo (horas, dias, semanas, meses etc.).

Em geral, se distingue os seguintes tipos de atividades:

- Atividades paralelas: são aquelas que podem ser executadas ao mesmo tempo, simultânea ou paralelamente;
- Atividade dependente: é a atividade que só pode ser executada depois da completa execução da atividade que a precede;
- Atividade independente: é aquela que para ser executada não depende de atividades anteriores;
- Atividades condicionantes: são as atividades que só podem ser executadas sob certas condições ou em determinadas datas.

2.6.6 PRINCÍPIOS PARA A ELABORAÇÃO DE UMA REDE PERT/CPM

Para a construção de uma rede de atividades PERT/CPM, deve-se observar alguns preceitos ou princípios fundamentais:

1. Discriminar as atividades com as respectivas durações. Durações estas determinadas através da experiência, dados históricos ou informações extraídas de todas as fontes disponíveis;
2. Economizar tempo verificando se existem atividades que podem ser executadas em paralelo. Esta verificação limita-se unicamente aos aspectos técnicos e não às limitações

de capacidade. Deve-se ter em mente que as atividades, ao contrário dos eventos, consomem tempo e/ou recursos;

3. Entre dois eventos sucessivos existe uma e somente uma atividade;
4. A rede não deve apresentar circuitos, pois ter-se-ia o fato de uma atividade poder dar origem a si mesma;
5. Uma atividade somente tem início quando o evento inicial que a precede é atingido, ou seja, todas as atividades que a ela chegam (evento atingido) foram concluídas;
6. Tudo que pode atrasar um projeto e pode ser previsto constitui uma atividade, não devendo ser desprezado.

Os principais métodos para se estabelecer uma rede são:

- **Método da Regressão:**

Neste método parte-se do evento final e dirige-se para o evento inicial. Para tanto, utiliza-se o seguinte raciocínio: o objetivo é a conclusão ou entrega do projeto ou produto. Para entregar é preciso que, por exemplo, o produto esteja pronto e que o transporte esteja preparado. Para que o produto esteja pronto é necessário que sua fabricação esteja concluída. Para que seja realizada a fabricação há necessidade, por exemplo, de uma preparação. E daí por diante;

- **Método da Progressão:**

Neste caso parte-se do início para o fim (também dito da esquerda para a direita) seguindo uma seqüência, digamos, “natural” . . . passo a passo. É mais fácil de ser utilizado na prática e, portanto, o mais usado.

A rede de atividades PERT/CPM a que nos referimos trata-se, na verdade, de um grafo e como tal pode-se dizer, em geral, que[RABUSKE, 1992] [FURTADO, 1973] [SZWARCFITER, 1984] [BOAVENTURA NETTO, 1979]:

- é **incompleto** porque, necessariamente, não existe ligação entre todos os nós, tomados dois a dois.
- é **conexo** porque, entre dois nós considerados, há sempre uma cadeia entre eles, embora não haja caminhos ligando todos os nós (entre o nó final e o nó inicial da rede, há uma cadeia, mas não um caminho);
- **tem caminhos**, porque os vários nós são ligados por arcos (arestas orientadas), mas **não tem circuitos**, porque na rede PERT/CPM, um caminho não pode iniciar e terminar num mesmo nó;

- é de **correspondência plurívoca**, porque cada nó pode ser ligado a mais de um nó e numa única direção;
- é **antissimétrico**, porque para todos os pares de nós considerados, só existe ligação em uma direção;
- apresenta **relações de ordem estrita** porque, considerando-se dois nós diferentes, x e y, sempre x é igual ou menor que y, o que implica em que o grafo seja conexo e antissimétrico.

Uma das maneiras de se analisar a interdependência entre as várias atividades que compõem o projeto, que é a base para a construção da rede, é a elaboração do quadro de seqüenciação. Este quadro, essencialmente, representa as relações entre as atividades de um projeto, especificando suas interdependências e é constituído, basicamente, por três colunas:

- Atividade;
- Atividade imediatamente antes;
- Atividade imediatamente depois.

O quadro de seqüenciação, abaixo, ilustra uma situação hipotética:

Atividade imediatamente antes	Atividade	Atividade imediatamente depois
-	A	D
-	B	E
-	C	F
A	D	H
B	E	H
C	F	G
F	G	H
D, E, G	H	L
-	I	J
I	J	L
J, H	L	-

A rede de atividades PERT/CPM, baseada no quadro de seqüenciação acima, seria a seguinte, figura 2.7:

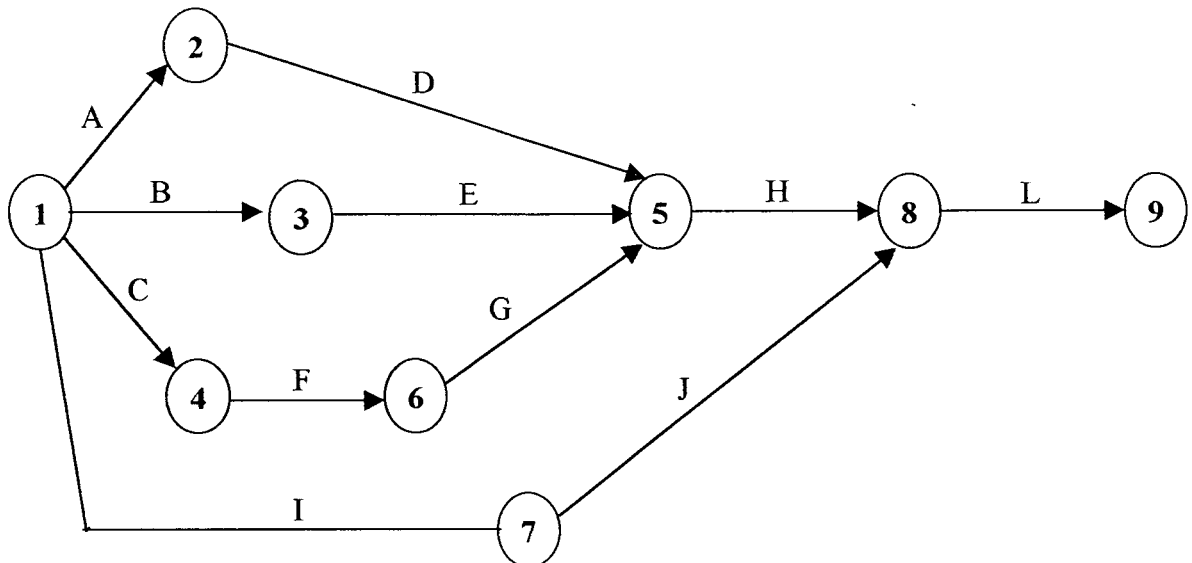


Fig. 2.7- Rede de atividades PERT/CPM.

Como pode-se notar, cada atividade é representada por uma reta (ou linha), cuja seta, única, indica a progressão daquela atividade no tempo. Vale ressaltar que o comprimento da reta não precisa guardar proporção com a duração da atividade. Nos programas de computadores, as atividades são identificadas, principalmente, por seus eventos inicial e final, enumerados da esquerda para a direita. É incorreto, portanto, que duas ou mais atividades tenham os mesmos nós inicial e final, figura 2.8:

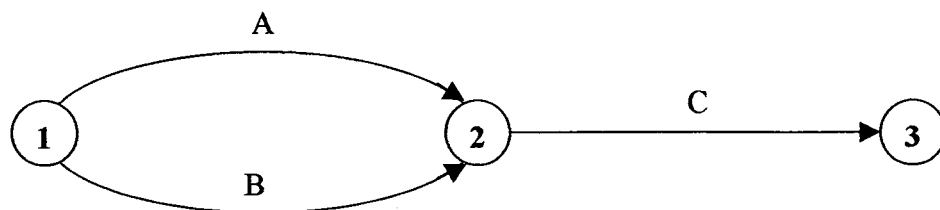


Fig. 2.8- Forma incorreta de representarmos as atividades paralelas, A e B.

Neste caso, utiliza-se o artifício da atividade “fantasma” para corrigir a situação. Ou seja, trata-se de uma atividade (B’), com duração zero, não consome recursos e sem real influência no diagrama, figura 2.9:

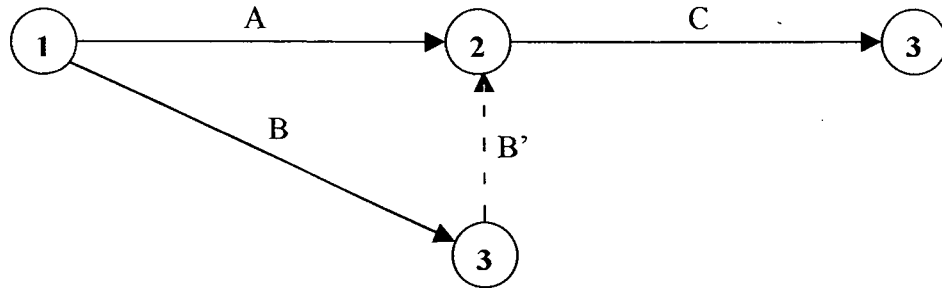


Fig. 2.9- Representação correta da rede anterior utilizando-se a atividade fantasma B’.

Uma vez elaborado o quadro de seqüenciação, construída a rede de atividades e estimados os valores das durações das atividades, passa-se aos cálculos das datas, das folgas e à determinação do caminho crítico.

- Data mais cedo: é a menor data em que o evento pode ocorrer, desde que as atividades anteriores se desenvolvam nas durações previstas.
- Data mais tarde: maior data em que o evento pode ocorrer, sem atrasar o fim do projeto.
- Folga total: é a disponibilidade de tempo que a atividade pode utilizar de forma que, iniciada na data mais cedo do seu evento início, tenha sua conclusão na data mais tarde do seu evento fim.

$$FT = (T_{tj} - T_{ci}) - D \quad \text{ou} \quad FT = T_{tj} - (T_{ci} + D)$$

FT: Folga Total;

T_{tj} : Tempo tarde do evento fim;

T_{ci} : Tempo cedo do evento início;

D: duração da atividade.

- Folga livre: é a disponibilidade de tempo, além da duração prevista, que a atividade pode utilizar, supondo-se que comece na data mais cedo de seu evento início e termine na data mais cedo de seu evento fim.

$$FL = T_{cj} - T_{ci} - D \quad \text{ou} \quad FL = T_{cj} - (T_{ci} + D)$$

FL: Folga Livre;

T_{cj} : Tempo cedo do evento fim;

T_{ci} : Tempo cedo do evento início;

D: duração da atividade.

- Folga dependente: é a disponibilidade de tempo que a atividade pode utilizar de forma que, iniciada na data mais tarde do seu evento início, tenha sua conclusão na data mais tarde do seu evento fim.

$$FD = (T_{tj} - T_{ti}) - D \quad \text{ou} \quad FD = T_{tj} - (T_{ti} + D)$$

FD: Folga Dependente;

T_{tj} : Tempo tarde do evento fim;

T_{ti} : Tempo tarde do evento início;

D: duração da atividade.

- Folga independente: é a disponibilidade de tempo que a atividade pode utilizar de forma que, iniciada na data mais tarde de seu evento início, tenha sua conclusão na data mais cedo do seu evento fim.

$$FI = (T_{cj} - T_{ti}) - D \quad \text{ou} \quad FI = T_{cj} - (T_{ti} + D)$$

FI: Folga Independente;

T_{cj} : Tempo cedo do evento fim;

T_{ti} : Tempo tarde do evento início;

D: Duração da atividade.

- Caminho crítico: é todo caminho de maior duração em um projeto, compondo-se, embora não necessariamente, de uma sequência de atividades críticas. Uma outra forma de apresentar o caminho crítico é dizer que ao longo do mesmo a folga de evento (disponibilidade de tempo medida pela diferença entre as datas mais tarde e mais cedo de um evento) é constante e igual à menor folga de evento da rede; que só será nula no caso limite em que a data mais tarde for igual à data mais cedo.

A tabela 2.1, a seguir, mostra os resultados dos cálculos acima:

Atividade	Duração	T _{ci}	T _{ti}	T _{ej}	T _{tj}	FT	FL	FD	FI	CC
A	5	0	5	5	10	5	0	0	-5	A
B	3	0	5	3	10	7	0	2	-5	-
C	3	0	5	3	9	6	0	1	-5	-
D	2	5	10	7	12	5	0	0	-5	D
E	2	3	10	7	12	7	2	0	-5	-
F	2	3	9	5	11	6	0	0	-6	-
G	1	5	11	7	12	6	1	0	-5	-
H	1	7	12	8	13	5	0	0	-5	H
I	5	0	5	5	10	5	0	0	-5	I
J	3	5	10	8	13	5	0	0	-5	J
L	1	8	13	9	14	5	0	0	-5	L

Tab. 2.1- Resultados dos tempos-cedo dos eventos início e fim, tempos-tarde dos eventos início e fim, folgas total, livre, dependente e independente e caminho crítico.

A figura 2.10 mostra a rede de atividades com todas as datas e o caminho crítico representados na tabela acima.

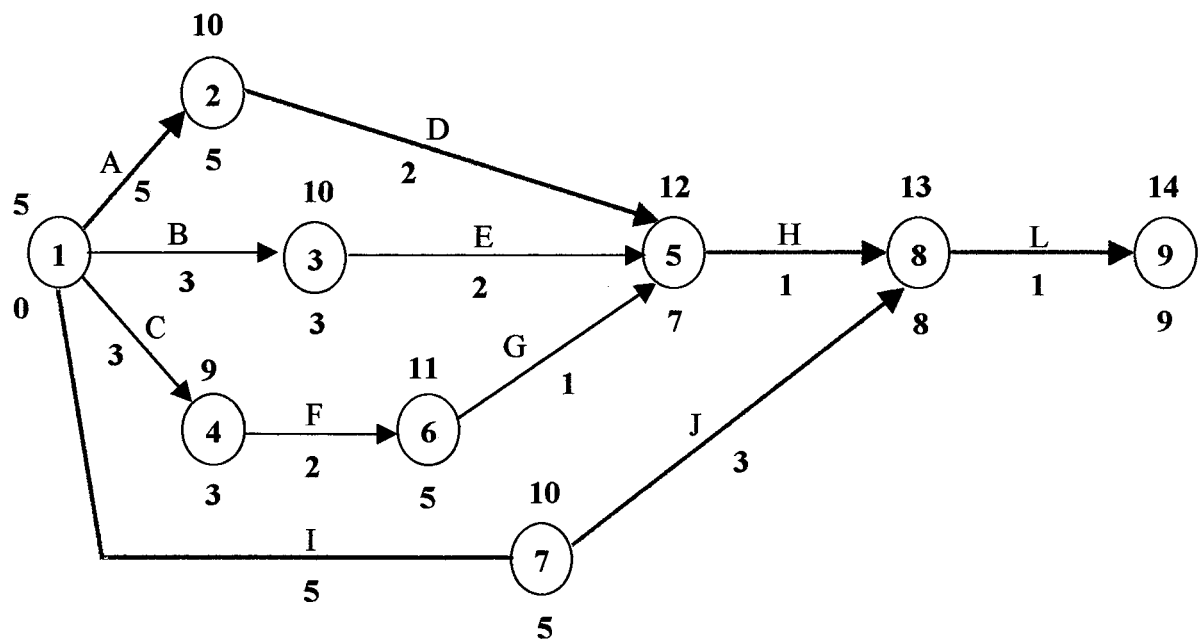


Fig. 2.10- Rede de atividades mostrando as datas e o caminho crítico.

Dentro da lógica tradicional do PERT/CPM, caso não haja problemas não previstos capazes de atrasar sua conclusão, este projeto deve ser concluído, no mínimo, na data 9; ou, no máximo, na data 14. Para tanto, deve-se ter os recursos mínimos necessários para a sua execução (lógica de recursos infinito). O nivelamento destes recursos é feito num momento posterior, jogando com as folgas das atividades.

A seguir, será visto uma maneira de associar o método PERT/CPM a heurísticas com o objetivo de programar-se a execução das atividades, mas dentro de uma lógica de recursos finitos. Isto é, não se dispõe de todos os recursos necessários para a execução simultânea das atividades, quando isto é possível tecnicamente. Tem-se, portanto que priorizar a execução destas atividades, gerando filas a espera de recursos disponíveis. Esta é uma situação bastante comum, especialmente no contexto atual, onde se verifica, cada vez mais, uma escassez de recursos.

CAPÍTULO 3 - O PCP EM AMBIENTES DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA MOINHOS

3.1 AMBIENTES GENÉRICOS DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA

Como dito anteriormente, a produção de um bem sob encomenda é desenvolvida para um cliente específico e cada pedido, quase sempre, refere-se a um bem diferente daquele que foi produzido instantes antes. Ou seja, espera-se, de início, a manifestação do cliente, o qual formaliza um pedido, acompanhado ou não de um projeto, para em seguida definir os produtos a serem fabricados, já que estes não podem, ou não devem, *a priori*, ser produzidos para estoque. Isto faz com que as empresas que trabalham com produção sob encomenda tenham grandes dificuldades em sequenciar a produção, já que é difícil prever “o que”, “o quando” ou “como” será feita a produção no período seguinte. Na prática, todas estas informações somente ficam definidas com a chegada do pedido. A partir dele, o roteiro de produção é delineado, os materiais e demais itens componentes são encomendados e a produção se inicia[NUNES e outros, 1996].

Para uma melhor visualização ou comparação, a figura 3.1, abaixo, mostra uma classificação onde é possível localizar a produção sob encomenda no universo dos vários tipos de estrutura de produção[COSTA, 1996].

⇒ FLUXO GENÉRICO DE PLANEJAMENTO E PRODUÇÃO AO LONGO DO TEMPO ⇒						
PROJETO DO PRODUTO	DEFINIÇÃO DO ROTEIRO DE FABRICAÇÃO	COMPRA DE MATERIAIS	FABRICAÇÃO DE ITENS BÁSICOS	MONTAGEM FINAL DE SEMI ACABADOS	ESTOQUE	CLIENTE
A ⇒	A	A	A	A	A	X
	B ⇒	B	B	B	B	X
	b ⇒	-	b	b	b	X
		C ⇒	C	C	C	X
			D ⇒	D	D	X
				E ⇒	E	X
					F ⇒	X

Fig. 3.1- Estruturas de produção definidas a partir do instante de chegada do pedido.

Esta classificação, genericamente, diferencia os diversos tipos de estruturas de produção e focaliza a forma como uma empresa se posiciona em relação ao seu mercado. Considera ainda em que momento, ao longo do fluxo de atividades e após ser recebido o pedido do cliente, é necessária a obtenção do produto; ou quanto se conhece do produto em questão e dos recursos necessários para a sua fabricação nesse instante.

O ponto “A” caracteriza aquelas empresas que se propõem a produzir uma linha de produtos “aberta”. Isto é, não sabem, *a priori*, o que vão produzir. Neste caso, via de regra, há uma grande diversidade de produtos a ser produzida e, portanto, a variedade de produtos fabricada hoje, pode não ser a produzida amanhã. Mais ainda, o ritmo de produção é pouco ou não repetitivo; os tempos totais de produção são relativamente longos; há grande número de instruções de trabalho; a quantidade de produtos produzida é, muitas vezes, pequena; os recursos produtivos são sub-utilizados, apresentando, conseqüentemente, elevada capacidade ociosa e os recursos produtivos e os métodos de trabalho apresentam elevada dificuldade de padronização. Este é o caso típico das empresas fabricantes de moldes, matrizes e ferramentas; das empresas fabricantes de máquinas e equipamentos especiais, entre outras.

O ponto “B” caracteriza as empresas que trabalham com projetos fornecidos pelo cliente. Aqui, como no caso anterior, os roteiros de produção, a compra de materiais e a fabricação são definidos também somente a partir do recebimento do pedido. O fornecimento do projeto, por parte do cliente, simplifica as tarefas de planejamento e controle e diminui o tempo total de fabricação. Este é o caso típico das empresas de usinagem, por exemplo, que produzem pequenas peças de reposição, pequenos equipamentos etc, sob desenho.

O ponto “b” descreve as empresas que além de receberem o projeto, recebem, também, os materiais para processamento. Constitui um caso ainda mais simplificado que o anterior. É o caso, por exemplo, das empresas prestadoras de serviços ou oficinas de reparos cuja gestão tende a concentrar-se na especificação do serviço e na produção, propriamente dita.

O ponto “C” caracteriza as empresas que se propõem a produzir uma linha “fechada” de produtos ou serviços. Linha esta, em geral, extensa e heterogênea. Como normalmente existe um catálogo fechado de produtos, mesmo antes do recebimento dos pedidos, seus respectivos projetos e processos de fabricação já são conhecidos. No entanto,

como a lista de produtos catalogados é extensa e heterogênea, não é usual proceder à estocagem prévia das matérias-primas e itens componentes mais dispendiosos para todos os produtos em catálogo. Como, em geral, apenas um pequeno percentual desta lista está sendo fabricado e este percentual é variável a cada instante de tempo, em termos de *mix* de produção, definir quais as matérias-primas e quais os itens componentes devem ser estocados para atender aos pedidos é uma tarefa bastante complicada. Na prática, há uma tendência no sentido de aguardar a confirmação dos pedidos para se efetuar as compras. Ou seja, o processo de compras, ou sua parte mais expressiva, somente é disparado após a solicitação ou pedido do cliente ser confirmado, o que evita o risco ou o inconveniente de uma estocagem vultosa.

Os pontos “D” e “E” caracterizam as empresas onde sua linha de produtos não é tão extensa e heterogênea e o *mix* de produção é relativamente estável. Desta forma, o processo de compras é bastante facilitado, podendo, inclusive, ser realizado com relativa antecedência, com base em previsões de consumo ou, adotando-se uma postura mais moderna, estabelecer parcerias ou relações estáveis e duradouras de fornecimento.

O ponto “E”, por sua vez, representa as situações onde as matérias-primas e alguns itens componentes, considerados básicos, estão estocados e disponíveis antes mesmo da entrada do pedido em carteira. Em geral, isto é feito com base em previsões e estimativas de consumo e tem como objetivo responder mais rapidamente às solicitações dos clientes quando comparado com a situação dada pelo ponto “D”, já que, neste caso, apenas as partes ligadas a especificidades do pedido aguardam a definição do cliente. Desta forma, além de permitir respostas mais rápidas às solicitações dos clientes, apresenta, também, maior flexibilidade.

O ponto “F” caracteriza aquelas empresas que se propõem a atender aos pedidos de seus clientes com base na estocagem antecipada de produtos finais. Hoje, em função de uma conjuntura incerta, de acirradas disputas por mercado, queda de barreiras comerciais, diversidade de produtos etc, esta não é uma situação muito comum. Comumente, este caso se verifica, eficientemente, em mercados estáveis, onde a produção e as compras são realizadas com antecedência e baseadas em previsões e estimativas de consumo.

Como pode-se observar, os pontos “A” e “F” representam os extremos da classificação dada. No extremo “A” tem-se uma situação de elevada diversidade de

produtos, *mix* de produção variável, baixos volume e frequência de produção e longos tempos de fabricação. No extremo “F” tem-se uma situação de relativa estabilidade, com uma linha de produtos definida, *mix* de produção homogêneo, elevados volume e frequência de produção, tempos de reposição relativamente curtos e produção repetitiva.

Os pontos “A”, “B” e “C” caracterizam as empresas que competem com base na oferta de uma grande variedade de produtos. Tipicamente, utilizam um *lay-out* do tipo funcional ou por processo pela necessidade de tratar com pedidos específicos de clientes, que se repetem numa baixa frequência ou são feitos uma única vez. Este arranjo permite a produção de uma maior variedade de produtos, fluxos de materiais variáveis e roteiros de produção diversos.

Utilizando critérios como a natureza da linha de produtos, o *mix* de produção, os tempos totais de produção, o volume ou o ritmo de produção e o provável arranjo físico dos recursos produtivos, a figura 3.2 caracteriza as várias situações de produção sob encomenda[COSTA, 1996]:

TIPO DE EMPRESA	LINHA DE PRODUTO	MIX DE PRODUÇÃO	TEMPO TOTAL DE PRODUÇÃO	VOLUME OU RITMO DE PRODUÇÃO	ARRANJO FÍSICO	PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA
A “VENDEDOR DE PROJETO E CAPACIDADE”	ABERTA	ABERTO	MESES	MUITO BAIXO	FUNCIONAL	++++++ ++++++ ++++++ ++++++ ++++++ ++++++
B “VENDEDOR DE CAPACIDADE”			MÊS			++++++ ++++++ ++++++ ++++++ ++++++ ++++++
C “VENDEDOR DE GRANDE VARIEDADE DE TIPOS DE PRODUTOS”	FECHADA COM MUITAS FAMÍLIAS	MUITO INSTÁVEL	SEMANAS	BAIXO		++++ ++++ ++++ ++++ ++++ ++++
D “VENDEDOR DE UMA OU POUCAS FAMÍLIAS DE PRODUTOS”	FECHADA COM POUCAS FAMÍLIAS	POUCO INSTÁVEL	SEMANA	ALTO		+++ +++ +++ +++ +++ +++
E “VENDEDOR DE PRODUTOS CUSTOMIZADOS	FECHADA	ESTÁVEL	DIAS		CELULAR	++ ++ ++ ++ ++ ++
F “VENDEDOR DE PRODUTOS DE PRATELEIRA”			HORAS	MUITO ALTO		+ + + + + +

Fig. 3.2- Caracterização da produção sob encomenda.

Na produção sob encomenda, uma das preocupações maiores é prover um sistema suficientemente flexível a fim de atender a uma demanda específica de um determinado cliente. Neste sentido, opta-se por máquinas e equipamentos universais e funcionários polivalentes, qualificados o suficiente para realizar diversas tarefas. A adoção de sistemas flexíveis de manufatura ou a adoção de uma abordagem celular, onde cada tipo de produto, produzido esporadicamente, requererá um conjunto dedicado de recursos produtivos, faz com que os recursos financeiros necessários sejam enormemente elevados, tornando estas opções impraticáveis neste tipo de ambiente ou, pelo menos, sujeitas a sérias restrições.

3.2 AMBIENTES DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA MOINHOS

A fabricação de máquinas e equipamentos para moinhos envolve grandes conhecimentos do setor propriamente dito e elevado domínio tecnológico em diversas áreas da engenharia, já que, em geral, produz-se máquinas automáticas ou de elevada precisão. Apenas para ilustrar, pode-se citar as seguintes máquinas e equipamentos para moinho: aparelho magnético, balança eletrônica, balança ensacadora, bate saco, boca saco pneumático, classificadora centrífuga, decantador, desagregador, desinfestador, degerminador, dosador, ensacadora tipo carrossel, filtro pneumático, misturador, *plansichter*, polidora, rosca alimentadora, rosca poligonal, rosca tubular, sassoura, turbovibrante, turbopeneira, umidificador, vibroseparador, entre muitas outras. São mais de 200 tipos diferentes de máquinas e equipamentos, onde há, para quase todos eles, cinco ou seis modelos variando as dimensões e a capacidade produtiva.

No Brasil, apenas duas empresas detém tecnologia para a fabricação destas máquinas: a SANGATI-BERGA, que recebe tecnologia transferida da matriz italiana e uma outra empresa concorrente, que recebe tecnologia alemã. As empresas fabricantes de máquinas e equipamentos para moinhos são um tipo de empresa que trabalham com produção sob encomenda e, freqüentemente, tem porte menor que seus clientes, grandes

moinhos de trigo, soja, entre outros grãos. Como no Brasil há apenas dois fabricantes capazes de atender, a contento, o setor e diversos clientes, tanto no Brasil como no exterior, é natural e comum o estabelecimento de estreitas relações de parcerias.

Conforme apresentado no item 3.1 deste trabalho, as empresas fabricantes de máquinas e equipamentos para moinhos representam um misto dado pelos pontos “A”, “B” e “C”, tendo como principal característica uma variedade relativamente grande de produtos, que se ajustam às especificidades do cliente; utilizam um *lay-out* funcional ou por processo; máquinas universais e funcionários qualificados e polivalentes.

As empresas, algumas vezes, recebem o projeto do cliente. Às vezes, até o projeto completo de todo o moinho, ou de uma parte expressiva dele, como no caso das ampliações. Noutros casos, as empresas desenvolvem todo o projeto para o cliente. Noutros casos, o cliente já tem o projeto da máquina, necessitando apenas ajustá-la às suas necessidades; por exemplo: dimensões, altura da base, capacidade produtiva, entre outros ajustes. Neste caso, as empresas aguardam a denominada definição técnica. Isto é, dados técnicos passados pelo cliente referentes às suas necessidades.

No Brasil, ao contrário dos países europeus, é difícil a padronização de máquinas e equipamentos para moinhos. Em geral, o cliente exige o atendimento às suas reivindicações. Ou seja, deve-se adaptar as máquinas às instalações do cliente ou às suas necessidades. Caso isto não ocorra, corre-se o risco de perder o pedido. No caso específico da Sangati-Berga, a matriz italiana fabrica somente máquinas-padrões. Evidentemente, todo o processo de fabricação é imensamente facilitado, já que pode-se adotar tempos-padrões, para cada máquina e equipamento; eliminar instruções de trabalho; eliminar os detalhes ou definições técnicas específicas de cada cliente etc. Isto, as empresas não conseguem aplicar no Brasil.

Como consequência imediata, por exemplo, tem-se os altos custos envolvidos na manutenção de uma área de projetos, em geral adaptada e capacitada a atender às exigências dos clientes. Normalmente, a área de projetos conta com estações de trabalho, ou microcomputadores de elevadas velocidade e capacidade de memória, interligados em rede; utilizam *software's* de última geração e mantêm profissionais altamente capacitados. A terceirização desta área, por sua vez, adotada em muitas outras situações, aqui é descartada por razões de ordem prática e técnica. Obviamente, no fato de não se trabalhar somente com máquinas-padrões não há somente desvantagens. Em geral, é

no desenvolvimento de uma máquina ou de um projeto que se estabelecem as parcerias. Com o tempo, as relações de parcerias podem se estreitar e se estabelecer uma nova relação, onde a confiança mútua prevalece.

Esta confiança, inclusive, é um importante critério ganhador de pedidos. Há constatações que o mercado de bens e serviços feitos sob encomenda parece ser regulado por diversos outros fatores que não apenas aqueles relacionados ao preço. Obviamente, a redução de custos de fabricação a fim de se conseguir melhores preços de venda deve ser sempre um objetivo a ser alcançado como forma de aumentar a produtividade e, conseqüentemente, a lucratividade da empresa; especialmente, num momento de tão acirrada competição. No entanto, uma vez cotado o preço e estando este preço dentro de limites coerentes e aceitáveis pelo mercado, é muito improvável que a empresa venha a perder este, ou a ganhar novos pedidos, apenas em função de pequenas variações no preço orçado. Ou seja, o fator preço, para as empresas que atuam neste tipo de mercado, parece ser um critério que, simplesmente, qualifica um fornecedor para a concorrência, mas não necessariamente decide a obtenção de um novo pedido.

O mesmo pode-se dizer da qualidade e da rapidez na entrega. A qualidade é uma condição *sine qua non* para concorrer como fornecedor. Isto é, a qualidade é considerada, *a priori*, condição mínima e indispensável para que o fornecedor receba a solicitação do orçamento por parte do cliente. Fornecedores que são incapazes de fabricar produtos com padrões mínimos de qualidade estão, automaticamente, fora da concorrência. A rapidez na entrega também é fundamental. Dificilmente, um cliente aceitará ou arriscará manter um pedido junto a um fornecedor que produz com tempos totais de fabricação mais longos que os aceitáveis pelo mercado. Muito mais provável é que este cliente busque novos parceiros mais confiáveis.

Portanto, fatores como preço, rapidez na entrega e qualidade do produto atuam, neste mercado, mais como critérios qualificadores de um fornecedor. O que parece funcionar realmente como diferencial competitivo, num processo de concorrência, é a confiança que tem o cliente na capacidade da empresa fornecedora cumprir seus compromissos em conformidade com os prazos, com o orçamento e com as especificações técnicas prometidas. Mais ainda, esta relação de confiança permite, em geral, eventuais mudanças no projeto, o que exige-se, também, flexibilidade para se negociar possíveis mudanças quando necessárias.

Isto fica evidente quando tem-se, por exemplo, duas ou mais empresas que produzem com preços, praticamente, iguais; com padrões de qualidade similares e tempos totais de processamento dentro de limites aceitáveis pelo mercado. Numa situação assim, o cliente tenderá a colocar seu pedido naquele fornecedor em que mais confia, já que é esta confiança que faz com que se acredite que sua encomenda será entregue no prazo previamente estipulado, em absoluta conformidade com as especificações e no preço combinado.

Neste sentido, é de fundamental importância a empresa criar e manter uma estrutura tal que possibilite produzir com relativa rapidez e confiabilidade para que se cumpram os prazos acordados; em conformidade com as especificações a fim de se atingir um padrão de qualidade desejável e a um custo mínimo, evitando os desperdícios, maximizando a utilização dos recursos produtivos e minimizando o tempo de entrega. Num ambiente altamente competitivo, isto parece ser o mínimo indispensável para a empresa se manter no mercado preparada para ganhar mais e mais clientes.

3.3 O PCP EM AMBIENTES DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA MOINHOS

Na década de 90, por força do avanço tecnológico e de uma conjuntura econômica globalizada, o que prevalece e se impõe às empresas, hoje, é, entre outras, a adoção de sistemas flexíveis de produção, baixos *lead times*, rapidez no projeto e implantação de novos produtos. Desta maneira, as formas como se planejam, programam e controlam os sistemas produtivos são de suma importância neste contexto. Estas atividades, no conjunto de funções dos sistemas de produção, são desenvolvidas pelo Planejamento e Controle da Produção (PCP)[TUBINO, 1997].

Na produção sob encomenda, e em especial, na produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos, o principal fator a ser resolvido pelo PCP é o problema da alocação dos recursos múltiplos restritos disponíveis, no sentido de assegurar a data de conclusão do projeto[TUBINO, 1997]. No entanto, isto é muito complexo visto

que a quantidade de variáveis é bastante grande, já que o número de máquinas e equipamentos para moinhos é relativamente alto. Além disso, para cada um deles, há cinco ou seis modelos em que há variações das dimensões e da capacidade produtiva. Em geral, uma máquina é constituída de vários itens componentes que, quando não adquirido de terceiros, via departamento de compras, é fabricado em um ou mais postos de trabalho. Como pode-se verificar, o número de variáveis a serem controladas cresce rapidamente, tornando-se praticamente impossível controlar e analisar todas as atividades de todos os projetos sem o auxílio de uma metodologia ou um sistema que mostre, de forma clara e realista, todas as etapas que compõem seu estado atual, assim como as previsões futuras.

Outra dificuldade está em estabelecer prioridades. A natureza finita dos recursos produtivos e o elevado número de máquinas que são fabricadas simultaneamente, criam, inevitavelmente, conflitos de prioridades de entrega. Isto se torna ainda mais crítico com a ocorrência de eventos não previstos, tais como: quebra de máquinas, ausência de funcionários, atrasos na entrega de materiais, erros na produção etc. A principal consequência é a possível perda da credibilidade junto ao cliente. Aliás, a credibilidade em atingir as datas de entregas estipuladas é de grande valor para o cliente, pois permite que se faça planejamentos futuros baseados na data estipulada, com confiabilidade[SUCOMINE e RESENDE, 1996].

De uma forma geral, a estrutura de produção de uma empresa fabricante de máquinas e equipamentos para moinhos sob encomenda está distribuída da seguinte forma:

- **Negócio:** produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos;
- **Diversidade dos produtos:** relativamente grande. Mais de 200 tipos de máquinas e equipamentos, onde cada tipo possui cinco ou seis modelo diferentes, variando dimensões e capacidade produtiva;
- **Frequência de produção:** pouco repetitiva, com lotes freqüentemente unitários;
- **Natureza da demanda:** sob encomenda. Isto é, a partir do pedido do cliente;
- **Composição do produto:** produzido pela transformação de materiais (chapas, tarugos, perfis etc) a serem beneficiados através de corte, dobramento, usinagem, soldagem, calandragem, montagem, pintura etc; além da utilização de inúmeros insumos característicos de cada produto final, tais como: motores, correias, correntes, vibradores, molas, mangueiras, borrachas, peneiras, rolamentos, juntas, manômetros, termômetros, entre outros;

- **Após a chegada do pedido:** elaboração do projeto, ou adaptação das definições técnicas; definição das etapas do processo produtivo; compras; fabricação; testes, quando necessário; expedição;
- **Fluxo produtivo:** composto de várias etapas, onde um item acabado, máquina ou equipamento, é produzido a partir de vários componentes fabricados ou comprados.

A figura 2.2, apresentada no capítulo 2, mostrou uma visão geral das atividades do PCP. Como dito anteriormente, em um sistema de produção, as atividades do PCP devem ser exercidas em três níveis hierárquicos de planejamento e controle das atividades produtivas: níveis estratégico, tático e operacional. A seguir, será feita uma breve descrição das atividades desenvolvidas pelo PCP dentro de um ambiente de produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos.

- **Planejamento Estratégico da Produção:** consiste em se definir um Plano de Produção para um determinado período. Período este de longo prazo, em geral, um ano. Este plano é elaborado tomando-se por base as previsões de venda, os pedidos em carteira e, obviamente, a disponibilidade de recursos produtivos e financeiros. A previsão de vendas, baseada em dados históricos e metas atribuídas ao setor comercial, permite prever os tipos e as quantidades de máquinas e equipamentos que se espera vender no período planejado. A disponibilidade de recursos produtivos, ou capacidade produtiva, por sua vez, é o fator físico limitante do processo de produção. No entanto, esta capacidade pode ser incrementada, desde que planejada a tempo, pela adição de recursos financeiros, aumento de mão-de-obra, terceirização de parte da produção etc. Geralmente, o Plano de Produção é pouco detalhado, pois tem como finalidade básica possibilitar a adequação dos recursos produtivos e financeiros à demanda esperada para o período.
- **Planejamento-mestre da Produção:** consiste em estabelecer um Plano-mestre de Produção de produtos finais, detalhado a médio prazo, período a período, a partir do plano de produção. Como na produção sob encomenda não se pode definir, *a priori*, que produto e em qual quantidade este será vendido e, também, não se pode fabricar para estoque, o planejamento baseado em previsões de vendas torna-se inviável. Neste caso, o Plano-mestre de Produção, detalhado para um período de 3 meses, é elaborado mediante os pedidos em carteira. A partir deste Plano-mestre, o sistema produtivo, como um todo, passa a assumir os compromissos de fabricação e montagens destes pedidos. Vale

ressaltar que, ao se definir um Plano-mestre inicial, deve-se, obrigatoriamente, analisá-lo com rigor com o objetivo de identificar possíveis gargalos ou ociosidades que possam prejudicá-lo no curto prazo. Caso seja identificado algum problema ou potenciais problemas, o planejamento deve ser refeito tomando-se as devidas medidas preventivas até se chegar a um Plano-mestre de Produção viável.

- **Programação da Produção:** com base no Plano-mestre de Produção, a Programação da Produção define, no curto prazo, quanto e quando comprar, fabricar e montar a fim de se ter o produto final na data estipulada. Para tanto, emitem-se Ordens de Compra para os itens adquiridos de terceiros; Ordens de Fabricação para os itens produzidos internamente e Ordens de Montagens para as submontagens intermediárias e montagem final dos produtos estabelecidos no Plano-mestre de Produção. No caso em estudo, assim como na maioria dos casos de produção sob encomenda, o sistema de produção empregado é empurrado, ou seja, a Programação da Produção envia ordens a todos os setores envolvidos, empurrando a produção. A Programação da Produção se encarrega, ainda, de elaborar o seqüenciamento das ordens emitidas, em função da disponibilidade dos recursos produtivos. Como mostrado no capítulo 2, nos processos típicos por projetos, a principal questão a ser resolvida pelo PCP está ligada a alocação dos recursos produtivos disponíveis no sentido de garantir a data de conclusão do projeto. Neste aspecto, a técnica mais empregada para planejar, seqüenciar e acompanhar projetos é a técnica PERT/CPM[TUBINO, 1997]. No entanto, a lógica utilizada pelo PERT/CPM no nivelamento dos recursos produtivos, bastante semelhante àquela utilizada pelo MRP, é: planeja-se com capacidade infinita e ajusta-se esta capacidade num momento posterior, o que torna sua utilização bastante complicada, já que o que se tem nas empresas é uma capacidade finita de recursos. Capacidade esta que não pode variar constantemente, em função da Programação da Produção. Esta lógica, associada a outras deficiências, tem dificultado bastante a penetração do PERT/CPM na indústria em geral. Sua aplicação fica, portanto, restrita a grandes projetos; projetos civis, ambientais, militares etc. A seguir, veremos como o PERT/CPM, associado a heurísticas, pode resolver este problema: o da alocação de recursos múltiplos restritos na programação da produção.
- **Acompanhamento e Controle da Produção:** Através da coleta (apontamentos) e análise dos dados, o Acompanhamento e Controle da Produção tem como objetivo garantir que o programa de produção emitido seja executado a contento. Para tanto,

busca-se, constante e efetivamente, a rápida identificação de problemas que possam comprometer a boa execução do plano, assim como as correspondentes medidas corretivas. O Acompanhamento e Controle da Produção se encarrega, ainda, de coletar dados capazes de calcular: índice de defeitos; número de horas-extras; índice de quebra de máquinas; eficiência e produtividade dos funcionários; confiabilidade etc.

3.3.1 AS HEURÍSTICAS CMCR E CROC PARA PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

A alocação e o nivelamento dos recursos produtivos em redes de atividades PERT/CPM com o intuito de se obter uma maior eficácia na programação da produção podem ser obtidos de forma relativamente fácil, para redes de pequeno porte, pelo processo manual ou de tentativas e erros. Mesmo assim, será necessário exaurir todo o conjunto de soluções[HILLIER e LIEBERMAN, 1993][PRAWDA, 1984]. O método heurístico do Comprimento Máximo do Caminho Restante-CMCR, muito embora não garanta a obtenção da solução ótima, permite encontrar uma programação das atividades próxima da ótima, também denominada *ótima-eficiente*.

Esta heurística consiste em estabelecer prioridades de programação para atividades dentro de uma rede PERT/CPM, de modo a se ter uma seqüência de escolha quando existem várias atividades concorrentes para serem programadas num determinado tempo, t[CARDOSO e outros, 1982]; e quase sempre há a necessidade desta priorização, já que os recursos produtivos mesmo sendo múltiplos, quase sempre são restritos, tornando-se insuficientes para inicializar a programação de todas aquelas atividades que, tecnicamente, poderiam ser realizadas simultaneamente. Trata-se, portanto, da solução de problemas de alocação de recursos múltiplos restritos: mão-de-obra (mecânicos, eletricitas, montadores, soldadores, ajustadores, torneiros, fresadores, pintores etc), máquinas (tornos, fresadoras, plainas, geradoras de engrenagens, viradeiras, calandras, centros de usinagem etc) e equipamentos de suporte (pontes rolantes, guinchos, girafas, macacos hidráulicos, ferramentas, entre outras) em redes de atividades PERT/CPM, tendo como função-objetiva

maximizar a utilização dos vários tipos de recursos e minimizar o tempo total para execução da rede de atividades PERT/CPM[STEPHAN e FRANÇOIS, 1993].

A rede PERT/CPM deve ser enquadrada sob as seguintes condições: é um grafo conexo; o grafo é orientado; existe associada a cada atividade uma duração; cada atividade exige um ou mais tipos de recursos para a sua execução; existe ordem de antecedência e consequência entre as várias atividades; os vários tipos de recursos são limitados (recursos finitos).

Para estabelecer as prioridades, o método elimina a folga total de cada atividade. Isto implica em tornar todas as atividades da rede críticas[TAILLARD, 1993]. Posteriormente, calcula-se o tempo que irá decorrer desde o início desta atividade até o término do projeto total. O resultado desta operação é denominado Comprimento Máximo do Caminho Restante da atividade e quanto maior for o seu valor, maior a prioridade desta atividade sobre as demais. O método evolui, através de iterações sucessivas, até que todas as atividades da rede tenham sido programadas.

Na primeira iteração é programado o maior número possível de atividades que partem do nó origem da rede, observando-se, obviamente, a ordem de prioridades definida anteriormente. Cada uma das iterações seguintes é inicializada pela determinação do tempo a partir do qual novas atividades possam ser programadas. A determinação desse tempo é obtida pesquisando-se, entre as atividades já programadas, aquela ou aquelas que tenham programadas seus termos no tempo imediatamente maior ao tempo da iteração anterior[CARDOSO e outros, 1982].

A utilização deste método, numa rede de atividades PERT/CPM qualquer, é feita conforme descrita no desenvolvimento abaixo, onde:

- i - evento inicial;
- j - evento final;
- $i \rightarrow j$ - atividade ij ;
- D_{ij} - duração da atividade ij ;
- R_{ijk} - quantidade de recurso do tipo k , requerida pela atividade ij ;
- DPI_{ij} - data programada para início da atividade ij ;
- DPT_{ij} - data programada para término da atividade ij ;
- REC_k - total de recurso do tipo k , disponível para execução do projeto, ou disponível no tempo T_i ;

- T_1 - data para iniciar a iteração de ordem 1;
- A_L - conjunto das atividades, por ordem decrescente de $CMCR_{ij}$, que podem ser programadas na iteração de ordem L;
- TC_i - tempo cedo do evento i;
- TT_i - tempo tarde do evento i;
- TT_n - tempo tarde do evento final;
- FT_{ij} - folga total da atividade ij;
- $CMCR_{ij}$ - Comprimento Máximo do Caminho Restante da atividade ij.

O primeiro passo para a obtenção do cronograma de programação é calcular, para cada atividade da rede PERT/CPM, o valor do Comprimento Máximo do Caminho Restante, $CMCR_{ij}$, pela seguinte fórmula:

$$CMCR_{ij} = TT_n - TC_i - FT_{ij}$$

A partir do cálculo do $CMCR_{ij}$, coloca-se em ordem de prioridade as atividades. Quanto maior o $CMCR_{ij}$, maior a prioridade.

O passo seguinte é iniciar a programação propriamente dita, ativando na rede as atividades por ordem de maior $CMCR$. Para $T_1 = 0$, início da programação, o primeiro conjunto A_1 é constituído por todas as atividades que partem do evento início da rede. Os demais A_L são constituídos pelos elementos do conjunto A_{L-1} que não foram programados, mais as sucessoras das atividades já programadas que tenham todos os seus eventos precedentes já programados.

O valor do REC_k para a 1ª iteração é o limite superior de cada tipo de recurso disponível para a execução da atividade. Para as iterações seguintes, o valor do REC_k é igual ao REC_k restante da iteração anterior acrescido do $\sum R_{ijk}$ das atividades que terminam no T_L atual. O valor do REC_k , dentro de cada iteração é:

$$REC_k = REC_k - \sum R_{ijk}$$

A evolução da metodologia é repetitiva, sempre seguindo a ordem dada abaixo:

1. Cálculo do T_L ;
2. Cálculo dos recursos disponíveis REC_k para T_L ;
3. Obtenção do conjunto de decisão A_L para T_L ;
4. Programação das atividades do conjunto A_L ;
5. Cálculo do DPI_{ij} e DPT_{ij} para as atividades programadas
6. Voltar ao passo 1, se ainda existir atividade a programar.

O algoritmo do CMCR tem permitido estudos de análise de sensibilidade sobre a estrutura de seu algoritmo e, conseqüentemente, permitido a obtenção de soluções alternativas que vêm melhorando a performance desses sistemas. Um dos algoritmos alternativos, o CROC-Convergência de Recursos na Otimização do Caminho, pode efetivar um cronograma de programação da rede de atividades PERT/CPM melhor que o obtido pelo CMCR, sob dois aspectos importantes: garantia de um melhor nivelamento dos vários tipos de recursos produtivos e redução do tempo total para a execução da rede de atividades PERT/CPM[CARDOSO, 1996].

Para tanto, uma vez estabelecida a solução pelo método do CMCR, inicia-se uma análise de sensibilidade. Esta análise parte da solução básica do CMCR, que é determinada baseada na folga total, e efetiva novas programações a partir da folga livre, da folga dependente e da folga independente, fornecidas pelo método PERT/CPM. Após cada programação encontrada, verifica-se se houve redução do tempo total para execução da rede de atividades e um melhor nivelamento dos vários recursos em relação ao obtido, inicialmente, pelo método do CMCR. Sempre que a solução encontrada for melhor que a do CMCR, esta passa a ser a solução básica para novas comparações. Após serem exauridos todos os conjuntos de soluções, num total de três, será escolhida aquela de melhor programação. Portanto, a solução de programação obtida pelo método do CROC será, na pior das hipóteses, igual à fornecida pelo método do CMCR, já que o método do CROC parte da solução encontrada pelo CMCR e tenta encontrar novas soluções; soluções estas que levem a uma redução no tempo total de execução da rede de atividades.

Apenas para ilustrar, seja a rede de atividades da figura 3.3, abaixo, onde a cada atividade está associada uma duração, bem como as quantidades de dois tipos de recursos exigidos para as suas execuções, conforme mostra a tabela 3.1, a seguir. A unidade de tempo expressa na duração de cada atividade deve ser a mesma para toda a rede.

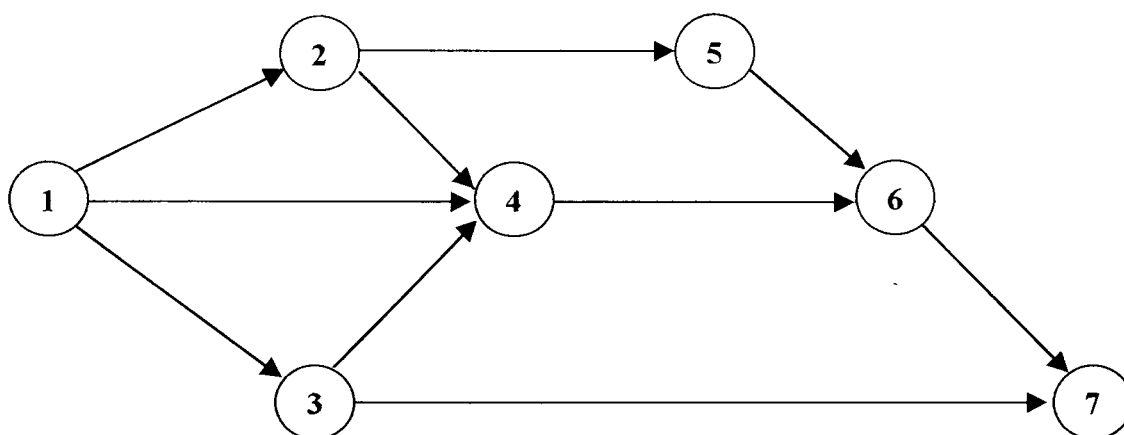


Fig. 3.3- Rede de atividades PERT/CPM.

Atividades do Projeto:	Duração (horas):	Quantidade de Recursos Exigidos:	
		Soldadores	Auxiliares
1 ⇒ 2	10	2	3
1 ⇒ 3	15	2	2
1 ⇒ 4	20	3	1
2 ⇒ 4	05	1	3
2 ⇒ 5	30	2	2
3 ⇒ 4	10	4	4
3 ⇒ 7	15	1	2
4 ⇒ 6	40	3	3
5 ⇒ 6	15	2	1
6 ⇒ 7	20	3	4

Tab. 3.1- Durações e recursos exigidos por cada atividade.

A disponibilidade de recursos produtivos para a execução das atividades é limitada aos seguintes níveis (recursos finitos): 5 soldadores e 4 auxiliares.

Inicialmente, determina-se o CMCR, para cada atividade, a fim de priorizá-las e, conseqüentemente, estabelecer a programação da rede objetivando a utilização dos

vários recursos ao máximo e procurando minimizar a duração de execução da rede PERT/CPM. Para tanto, são calculados o Tempo-tarde do evento final do projeto, o Tempo-cedo do evento início de cada atividade e a Folga-total, conforme fórmulas dadas anteriormente. Os resultados encontram-se na tabela 3.2, abaixo:

Atividades	TT_7	TC_i	FT_{ij}	$CMCR_{ij}$	Prioridade
$1 \Rightarrow 2$	85	0	10	75	3o.
$1 \Rightarrow 3$	85	0	0	85	1o.
$1 \Rightarrow 4$	85	0	5	80	2o.
$2 \Rightarrow 4$	85	10	10	65	5o.
$2 \Rightarrow 5$	85	10	10	65	6o.
$3 \Rightarrow 4$	85	15	0	70	4o.
$3 \Rightarrow 7$	85	15	55	15	10o.
$4 \Rightarrow 6$	85	25	0	60	7o.
$5 \Rightarrow 6$	85	40	10	35	8o.
$6 \Rightarrow 7$	85	65	0	20	9o.

Tab. 3.2- Cálculo do CMCR e da prioridade para cada atividade.

Uma vez determinados os valores do CMCR para cada atividade e de colocá-las em ordem de prioridade, inicia-se a programação, propriamente dita, ativando na rede as atividades por ordem de maior CMCR. Para isto, o algoritmo de desenvolve conforme dado abaixo:

1. Calcular o tempo da iteração T_L :
2. Calcular os recursos disponíveis para T_L :
3. Obter o conjunto de decisão A_L para T_L :
4. Programar as atividades do conjunto A_L :
5. Calcular as datas de início DI_{ij} e de término DT_{ij} , para cada atividade programada;
6. Voltar ao passo 1, caso ainda tenha alguma atividade a ser programada.

Assim, para $T_1 = 0$, início da programação, tem-se o seguinte conjunto de atividades factíveis à execução, por ordem de prioridade de CMCR e ordem de antecedência e subsequência na rede de atividades PERT/CPM: ($1 \Rightarrow 3$; $1 \Rightarrow 4$; $1 \Rightarrow 2$). A alocação dos recursos produtivos é feita, então da seguinte forma:

1ª Iteração	Soldadores	Auxiliares
Recursos disponíveis em $T_1 = 0$	5	4
Requeridos pela atividade $1 \Rightarrow 3$	2	2
Recursos restantes em $T_1 = 0$	3	2
Requeridos pela atividade $1 \Rightarrow 4$	3	1
Recursos restantes em $T_1 = 0$	0	1
Requeridos pela atividade $1 \Rightarrow 2$	2	3

Desta forma, serão inicializadas as atividades $1 \Rightarrow 3$ e $1 \Rightarrow 4$. No entanto, a atividade $1 \Rightarrow 2$, que poderia ser realizada em paralelo às atividades anteriores, não pode ser inicializada por indisponibilidade de recursos produtivos. As demais atividades, por sua vez, não poderão, também, ser ativadas por serem dependentes destas. Dito de outra forma, a programação de uma atividade só será possível se todas as atividades que convergem para o evento inicial desta atividade estiverem concluídas e se houver disponibilidade de recursos produtivos para a sua execução.

Para as atividades programadas, obtém-se, para cada uma delas, as datas de início, DI_{ij} , e de término, DT_{ij} , através das fórmulas:

$$DI_{ij} = T_L \quad \text{e} \quad DT_{ij} = T_L + D_{ij}$$

Assim,

Atividade	DI_{ij}	DT_{ij}
$1 \Rightarrow 3$	0	15
$1 \Rightarrow 4$	0	20

A nova iteração ocorrerá para $T_2 > T_1$ e $T_2 = \text{Min} (DT_{1-3} = 15; DT_{1-4} = 20)$. Portanto, para $T_2 = 15$ e após a liberação dos recursos produtivos utilizados na execução da atividade $1 \Rightarrow 3$, tem-se, para o 2º conjunto de decisão, $A_2 = (1 \Rightarrow 2; 3 \Rightarrow 4; 3 \Rightarrow 7)$:

2ª Iteração	Soldadores	Auxiliares
Recursos disponíveis em $T_2 = 15$	0	1
Liberados por $1 \Rightarrow 3$ em $T_2 = 15$	2	2
Recursos disponíveis para $T_2 = 15$	2	3
Requeridos por $1 \Rightarrow 2$	2	3
Recursos restantes em $T_2 = 15$	0	0

Atividade	DI _{ij}	DT _{ij}
1 ⇒ 2	15	25

A evolução do algoritmo é repetitiva, sempre seguindo a ordem dos passos dados anteriormente. O resultado final conduz à programação dada a seguir:

Atividades Programadas	Programação		Recursos Utilizados	
	DI _{ij}	DT _{ij}	R _{ijs}	R _{ija}
1 ⇒ 3	0	15	2	2
1 ⇒ 4	0	20	3	1
1 ⇒ 2	15	25	2	3
3 ⇒ 4	25	35	4	4
2 ⇒ 4	35	40	1	3
2 ⇒ 5	40	70	2	2
3 ⇒ 7	40	55	1	2
4 ⇒ 6	70	110	3	3
5 ⇒ 6	70	85	2	1
6 ⇒ 7	110	130	3	4

Tab. 3.3- Programação da rede de atividades PERT/CPM utilizando a heurística do CMCR.

Após a programação das atividades pelo método do CMCR, inicia-se uma análise de sensibilidade sobre esta programação. Através da utilização das folgas livre, dependente e independente, calcula-se o CROC, através das seguintes fórmulas:

$$CROC_{ij} = TT_n - TC_i - FL_{ij} \quad CROC_{ij} = TT_n - TC_i - FD_{ij} \quad CROC_{ij} = TT_n - TC_i - FI_{ij}$$

O algoritmo do CROC segue os mesmos passos do CMCR. Assim, o melhor resultado de sua programação, através da folga livre, é dado a seguir:

Atividade	TT ₇	TC _i	FL _{ij}	CROC _{ij}	Prioridade
1 ⇒ 2	85	0	10	75	1o.
1 ⇒ 3	85	0	15	70	3o.
1 ⇒ 4	85	0	20	65	2o.
2 ⇒ 4	85	10	25	50	5o.
2 ⇒ 5	85	10	30	45	6o.
3 ⇒ 4	85	15	15	60	4o.
3 ⇒ 7	85	15	65	5	10o.
4 ⇒ 6	85	25	40	20	7o.
5 ⇒ 6	85	40	35	10	9o.
6 ⇒ 7	85	65	0	20	8o.

Tab. 3.4- Cálculo do CROC e das prioridades.

Atividades Programadas	Programação		Recursos Utilizados	
	DI _{ij}	DT _{ij}	R _{ijs}	R _{ija}
1 ⇒ 4	0	20	3	1
1 ⇒ 2	0	10	2	3
1 ⇒ 3	10	25	2	2
2 ⇒ 5	20	50	2	2
3 ⇒ 7	25	40	1	2
3 ⇒ 4	50	60	4	4
2 ⇒ 4	60	65	1	3
5 ⇒ 6	60	75	2	1
4 ⇒ 6	65	105	3	3
6 ⇒ 7	105	125	3	4

Tab. 3.5- Programação da rede de atividades pela heurística do CROC.

Como pode-se observar, a aplicação da heurística do CMCR teve como resultado de programação da rede um total de 130 horas e uma carga real de trabalho da mão-de-obra de 75%. Por sua vez, a heurística do CROC leva a um resultado de programação de 125 horas, para uma carga real de trabalho da mão-de-obra de 78%.

Na tabela 3.6, a seguir, são apresentadas algumas regras de seqüenciamento bastante utilizadas na prática. O *software* de simulação *PREACTOR* traz estas regras, entre outras.

Sigla	Especificação	Definição
PEPS	Primeira que entra primeira que sai	Os lotes serão processados de acordo com sua chegada no recurso
MTP	Menor tempo de processamento	Os lotes serão processados de acordo com os menores tempos de processamento no recurso
MDE	Menor data de entrega	Os lotes serão processados de acordo com as menores datas de entrega
IPI	Índice de prioridade	Os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente ou ao produto.
ICR	Índice crítico	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: $[(data\ de\ entrega - data\ atual)] / tempo\ de\ processamento$.
IFO	Índice de folga	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: $[(data\ de\ entrega - \sum tempo\ de\ processamento\ restante)] / número\ de\ operações\ restantes$
IFA	Índice de falta	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: quantidade em estoque / taxa de demanda.

Tab. 3.6- Regras de seqüenciamento.

A regra PEPS é a mais simples delas, sendo pouco eficiente. É muito empregada em sistemas de serviço onde o cliente esteja presente. Esta regra faz com que as atividades com tempos longos retardem toda a seqüência de produção, gerando tempo ocioso nos processos à frente.

A regra MTP faz com que ordens com tempos longos de processamento sejam sempre preteridas, principalmente se for grande a dinâmica de chegada de novas ordens com tempos menores. Uma solução para este caso seria associarmos uma regra complementar que possibilitasse à uma ordem que fosse preterida um determinado número de vezes, ou após um determinado tempo de espera, avançar para o topo da lista.

A regra MDE, como prioriza as datas de entrega dos lotes, faz com que os atrasos se reduzam, o que é conveniente em processos que trabalham sob encomenda. Porém, como não leva em consideração o tempo de processamento, pode fazer com que lotes com potencial de conclusão rápido fiquem aguardando.

A regra IPI baseada em atribuímos um índice de prioridade a cada ordem, apresenta a mesma característica da regra MDE, sendo, ambas, mais conveniente empregá-las apenas como critério de desempate para outra regra.

As regras ICR e IFO estão baseadas no conceito de folga entre a data de entrega do lote e o tempo de processamento, sendo que a regra IFO considera não só a operação imediata, como todas as demais à frente. Estas duas regras privilegiam o atendimento ao cliente.

De um modo geral, existem algumas características importantes com relação às regras empregadas para a definição do seqüenciamento de um programa de produção, entre as quais pode-se citar:

1. **Simplicidade:** as regras devem ser simples e rápidas de entender e aplicar;
2. **Transparência:** a lógica por trás das regras deve estar clara, caso contrário o usuário não verá sentido em aplicá-la;
3. **Interatividade:** como os problemas de programação afetam os programadores, supervisores e operadores, as regras devem facilitar a comunicação entre estes agentes do processo produtivo;
4. **Gerar prioridades palpáveis:** as regras aplicadas devem gerar prioridades de fácil interpretação. Os usuários entendem mais facilmente uma regra baseada na data de entrega do que, por exemplo, em um índice muito elaborado;
5. **Facilitar o processo de avaliação:** as regras de seqüenciamento devem promover, simultaneamente a programação, a avaliação de desempenho de utilização dos recursos produtivos[TUBINO, 1997].

Apenas para ilustrar, faz-se uma comparação entre as heurísticas do CMCR e do CROC, implementadas em linguagem *Delphi*, e algumas heurísticas citadas anteriormente implementadas no *software* de simulação PREACTOR. Utilizar-se-á, para tanto, as seguintes regras: Primeira que entra, primeira que sai (PEPS); Índice de prioridade (IPI) e Índice Crítico (ICR). O problema consiste em seqüenciar cinco ordens de fabricação que precisam ser estampadas na máquina A e, em seguida, usinadas na máquina B. Os

tempos de processamento (incluindo os *setups*), as datas de entrega (em número de horas a partir da programação) e as prioridades atribuídas a cada ordem são apresentadas na tabela 3.7, abaixo.

Ordens a sequenciar	Processamento (horas)		Entrega (horas)	Ordem de prioridade
	Máquina A	Máquina B		
OF ₁	5	5	15	4
OF ₂	8	6	20	1
OF ₃	4	5	13	3
OF ₄	2	4	10	2
OF ₅	4	3	9	5

Tab. 3.7- Dados para o sequenciamento.

Para aplicação da regra PEPS (Primeira que entra, primeira que sai), vamos admitir que as ordens deram entrada em carteira no sentido da OF₁ para a OF₅. Para o processamento das Ordens de Fabricação dispõe-se, apenas, de uma máquina A e de uma máquina B. É dada, também, a rede de atividades PERT/CPM para o problema acima, figura 3.4, a seguir.

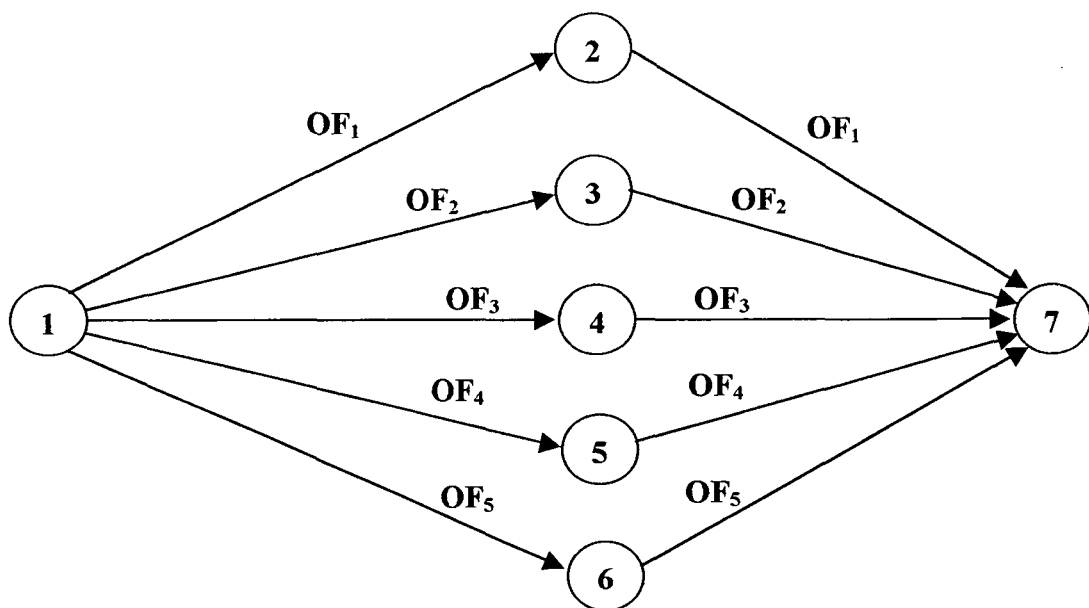


Fig. 3.4- Rede de atividades PERT/CPM.

A tabela 3.8, abaixo, apresenta as seqüências obtidas aplicando-se as regras: Primeira que Entra, Primeira que Sai (PEPS), Índice de Prioridade (IPI), Índice Crítico (ICR) e Comprimento Máximo do Caminho Restante/Convergência dos Recursos na Otimização do Caminho (CMCR/CROC). Os gráficos de Gantt para estas seqüências são mostrados a seguir, figura 3.5.

Regras	Seqüências
PEPS	OF ₁ – OF ₂ – OF ₃ – OF ₄ – OF ₅
IPI	OF ₂ – OF ₄ – OF ₃ – OF ₁ – OF ₅
ICR	OF ₅ – OF ₂ – OF ₃ – OF ₁ – OF ₄
CMCR/CROC	OF ₂ – OF ₁ – OF ₃ – OF ₄ – OF ₅

Tab. 3.8- Seqüências obtidas com a aplicação de algumas regras da tabela 3.6.

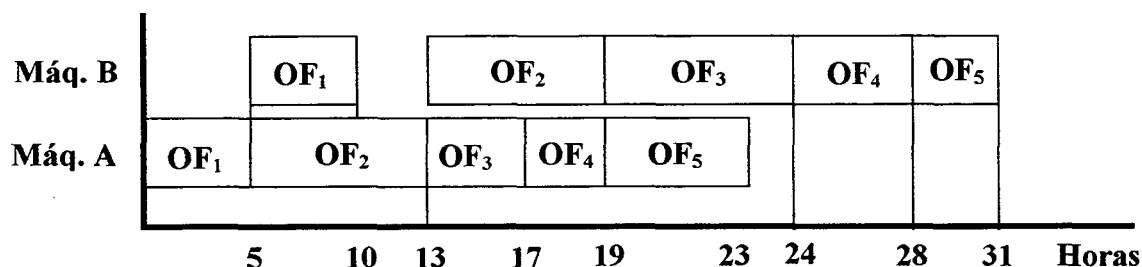


Gráfico de Gantt para a regra PEPS.

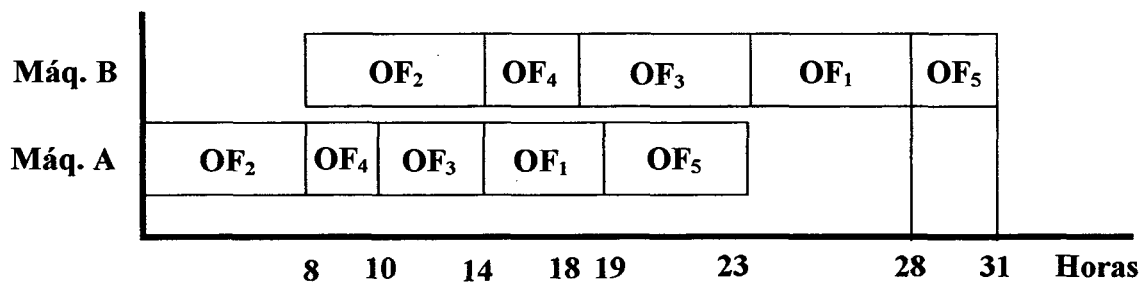


Gráfico de Gantt para a regra IPI.

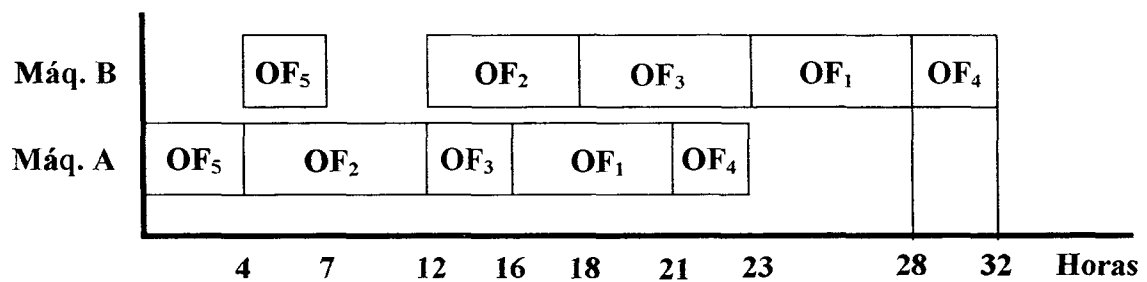


Gráfico de Gantt para a regra ICR.

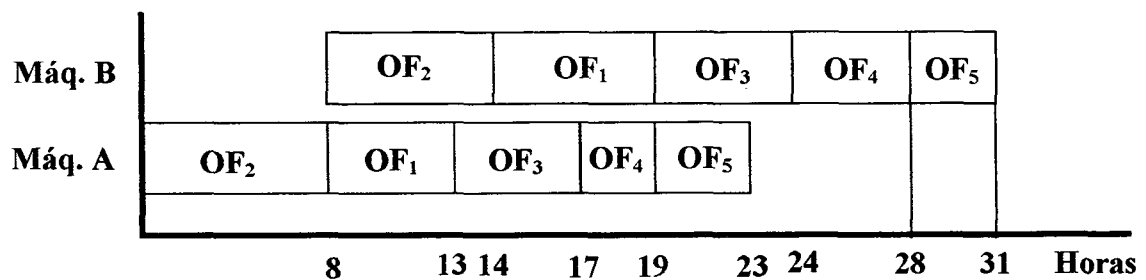


Gráfico de Gantt para as regras CMCR e CROC.

Fig. 3.5- Gráficos de Gantt para as seqüências dadas acima.

Como pode-se observar, a regra do CMCR/CROC levou a resultados iguais ou melhores que as outras regras (PEPS, IPI e ICR), para o problema exposto. Obviamente, como se trata de heurísticas, não se pode afirmar que ela sempre terá este comportamento. Dependendo do problema, podemos obter melhores ou piores resultados que outras regras, e vice-versa. Neste exemplo, a regra do ICR obteve o pior *lead time* (32 horas) e o maior número de horas ociosas (9 horas para a máquina A e 9 horas para a máquina B). As outras três regras obtiveram resultados idênticos tanto para o *lead time* total (31 horas) como para o tempo de máquina ociosa (16 horas). Muito embora, se compararmos as regras CMCR/CROC e PEPS, a primeira leva a um melhor nivelamento de recursos.

Vale ressaltar que não existem regras de seqüenciamento que sejam eficientes em todas as situações. Estudos comprovam que a eficiência de uma regra depende de vários fatores, o que faz com que uma boa regra em uma situação não seja, necessariamente, boa em outra. Soluções otimizadas para o problema de seqüenciamento empregando técnicas de Pesquisa Operacional, principalmente, a clássica programação linear inteira, são viáveis matematicamente. Na prática, no entanto, devido à natureza combinatória do problema e à rigidez dos algoritmos desenvolvidos, fica difícil conciliar a variabilidade dos dados de produção com a dinâmica de atualização dos parâmetros do algoritmo. Por esta razão, as empresas preferem trabalhar com regras simplificadas que, se não garantem o atendimento da solução ótima, procuram chegar a uma solução boa e rápida em relação aos objetivos pretendidos[TUBINO, 1997].

No próximo capítulo será descrita uma aplicação do método PERT/CPM associado às heurísticas CMCR e CROC em um ambiente de produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos.

CAPÍTULO 4- APLICAÇÃO DO PERT/CPM E HEURÍSTICAS EM UM AMBIENTE DE PRODUÇÃO SOB ENCOMENDA DE MÁQUINAS PARA MOINHOS

4.1 AMBIENTE DA EMPRESA

O local escolhido para aplicação de um exemplo de programação da produção em um ambiente de produção sob encomenda, enfatizando o uso do PERT/CPM e heurísticas é a SANGATI-BERGA, indústria italiana, especializada na fabricação de máquinas e equipamentos para moinhos de trigo e grãos em geral, com sede em Padova/Itália e filial em Fortaleza/Brasil. Mais precisamente, a Sangati-Berga faz parte de um grupo empresarial que possui duas outras empresas sediadas na Itália e que transferem tecnologia e *know-how* para a filial brasileira. É uma empresa que produz máquinas para a indústria alimentícia, de uma forma geral, sendo especializada na fabricação de máquinas e equipamentos para processamento de trigo, principalmente.

A fábrica é constituída por duas gerências: caldeiraria e montagem. Na gerência de caldeiraria ficam os setores de corte de chapas e perfis, de calandras e viradeiras, de montagem e soldagem das estruturas e de pintura de base (*primer*). Na gerência de montagem estão os setores de marcenaria, usinagem para caldeiraria, para montagem, montagem e pintura final, que pode ser feita antes ou após a montagem.

O *lay-out* da fábrica é mostrado na figura 4.1, abaixo:

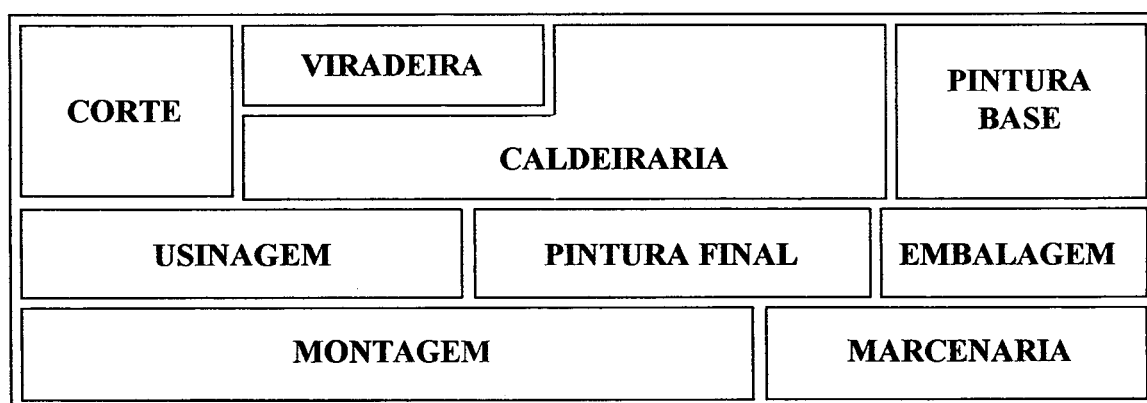


Fig. 4.1- *Lay-out* da fábrica.

O setor de corte ou preparação é constituído por dois funcionários, ambos responsáveis pela preparação de todas as máquinas e equipamentos; e dois funcionários, alocados neste setor, responsáveis pela movimentação (transporte e distribuição no interior da fábrica) do material preparado. O setor de preparação dispõe de duas serras de corte à fita, uma máquina de oxi-corte, uma guilhotina, uma serra de corte à disco, uma dobradeira de tubos, duas empilhadeiras, carros de transporte manual e outros instrumentos e ferramentas de apoio às atividades de preparação.

O setor de corte à *laser*, responsável pelos cortes finais (acabamento) das chapas, dispõe de dois funcionários e uma máquina de corte à *laser*, provida de uma mesa pantográfica e comando NC. Esta máquina está interligada, em rede, com o departamento técnico. Os desenhos podem ser transferidos diretamente deste departamento, via rede, para a máquina, que o converte automaticamente em comandos (programação) de corte; ou alimentada, via disco flexível, *in loco* (na própria máquina).

O setor de viradeira é constituído de um funcionário e uma viradeira comando NC, que também está interligada em rede com o departamento técnico, de onde podem ser transferidos os desenhos para conversão.

O setor de caldeiraria, também chamado setor de fabricação, é formado por vinte e dois funcionários e constituído de uma guilhotina hidráulica, uma viradeira manual, seis calandras (diversos tamanhos e capacidades), duas prensas excêntricas, várias máquinas de solda (eletrodo revestido, MIG/MAG, TIG) e diversas bancadas com seus respectivos instrumentos e ferramentas de apoio às atividades.

O setor de pintura base (*primer*) é formado por três funcionários, uma máquina de lavar (decapagem) e uma estufa de pintura *primer*.

O setor de usinagem possui dez funcionários, três tornos convencionais universais, um torno revólver, um torno comando NC, duas fresadoras de topo, uma fresadora chaveteira, uma geradora de engrenagens, uma plaina, uma balanceadora (estática e dinâmica) e uma furadeira radial.

O setor de marcenaria, formado por oito funcionários, possui uma máquina de colagem, uma tupia, uma lixadeira de fita, uma lixadeira de disco, dois corrupios, uma desengrossadeira, uma desempenadeira, uma furadeira pneumática, uma prensa de gaveta, uma esticadora de tela, uma furadeira de bancada, duas prensas de madeira e uma serra de disco.

O setor de montagem, responsável pela montagem final das máquinas, possui quinze funcionários, uma furadeira de bancada e diversas bancadas de ajustagem com seus instrumentos e ferramentas de apoio às atividades.

O setor de pintura final, com oito funcionários, possui uma cabine de lavagem (desengraxante) e uma estufa de pintura final eletrostática.

Após sair da pintura final, a máquina é inspecionada, algumas são testadas por várias horas de funcionamento, recebem as etiquetas de vistorias (controle de qualidade), o número de expedição, o número de fabricação (rastreabilidade), a embalagem final e aguardam o despacho, no setor de expedição.

Algumas máquinas são montadas no próprio local de funcionamento, ou alguns pedidos constituem um grupo de máquinas que trabalham em conjunto. Nestes casos, as máquinas são testadas no local em que são montadas.

Vale ressaltar que nos diversos setores da fábrica, os funcionários são capacitados o bastante para exercerem qualquer atividades dentro do seu setor de trabalho, não havendo distinção significativa do desempenho profissional entre eles. Ou seja, todos são igualmente capazes de realizar com competência as atribuições do setor em que estão lotados.

A empresa possui, ainda, como setores que influenciam diretamente o processo produtivo os seguintes departamentos: Compras, Departamento Técnico e Vendas ou Departamento Comercial.

4.1.1 O DEPARTAMENTO DE VENDAS

O Departamento de Vendas ou Área Comercial, com sede em São Paulo, é constituído de 5 funcionários (vendedores técnicos) e 1 gerente geral de vendas, responsável pelo setor. Além da função de vendas, no caso desta empresa, este setor tem também a função de detalhar e especificar particularidades da instalação das máquinas em cada cliente. Neste departamento está alocado, também, o serviço de Assistência Técnica, constituído por 2 funcionários especializados e constantemente treinados na sede (Itália) e

filial (Brasil) da empresa. Caso haja necessidade de outras pessoas para a realização de um eventual reparo, ou montagem da máquina no local de operação, estas serão cedidas pela empresa cliente, quando regido pelo contrato de vendas, ou contratadas de empresas prestadoras de serviço, especializadas em montagem industrial.

Resumidamente, a área comercial tem as seguintes funções:

- Fazer contatos com clientes;
- Fazer orçamentos;
- Elaborar previsões de faturamento nos curto e longo prazos;
- Negociar prazos de entrega com os clientes;
- Detalhar e especificar particularidades da instalação das máquinas em cada cliente;
- Controlar os orçamentos emitidos *versus* aprovados;
- Avaliar desempenho dos representantes comerciais, ou delegados de relações comerciais (vendedores técnicos);
- Prestar assistência técnica;
- Avaliar desempenho dos assistentes técnicos;
- Avaliar nível de satisfação dos clientes.

4.1.2 O DEPARTAMENTO TÉCNICO

O Departamento Técnico, ou Área de Projetos, trabalha com 4 funcionários e 1 responsável técnico. Possui uma estrutura totalmente informatizada, utilizando microcomputadores PC e estações de trabalho, interligados em rede (*Windows NT*), com *software's* de projetos e fabricação (CAE/CAD/CAM) e específicos, tais como o que programa a máquina de corte a *laser*, o da viradeira CNC, torno CNC, plotadora, entre outros.

As principais funções do Departamento Técnico são:

- Disponibilizar horas de projetos para os clientes, caso estes não tenham o projeto da máquina;
- Elaborar o anteprojeto com o cliente; ou

- Receber projetos;
- Discutir o anteprojeto com o cliente; e
- Elaborar o projeto final;
- Gerar lista de compra de materiais;
- Elaborar fichas técnicas ou instruções de trabalho;
- Auxiliar na elaboração de orçamentos;
- Enviar desenhos para o setor de corte à *laser* e viradeira;
- Enviar fichas técnicas ou instruções de trabalho para o PCP.

4.1.3 O PCP

O PCP é constituído de 3 funcionários, sendo um responsável pelo setor, um apontador e um digitador. As principais atribuições desta área são:

- Distribuição dos pedidos para a fábrica;
- Auxiliar na elaboração de orçamentos;
- Definir prazos de entrega;
- Cadastrar pedidos no sistema de faturamento;
- Cadastrar pedidos no sistema de apoio à produção (rastreadibilidade);
- Supervisionar o recebimento dos materiais junto ao almoxarifado;
- Controlar apontamentos;
- Levantar capacidade de fabricação disponível (lotação de fábrica);
- Levantar improdutividade;
- Controlar prêmios à produção;
- Levantar os resultados (positivo/negativo) dos trabalhos concluídos;
- Distribuir fichas técnicas ou instruções de trabalho;
- Levantar o número de horas-extras do período;
- Levantar o número de horas de retrabalho do período;
- Levantar o material requisitado;

- Auxiliar o Departamento de Compras a efetuar a compra de materiais e suprimentos;
- Controlar a produção mensal;
- Acompanhar o andamento dos serviços em processamento;
- Auxiliar na elaboração da meta de produção;
- Fazer a programação da produção;
- Reprogramar a produção;
- Abrir e fechar ordens de fabricação;
- Gerar relatórios de avaliação de desempenho dos setores, funcionários etc.

4.2 DIFICULDADES ATUAIS DO PCP

Resumidamente e de uma forma geral, pode-se dizer que os diversos problemas que atingem o planejamento, programação e controle da produção e dificultam o seqüenciamento em empresas que trabalham em regime de produção sob encomenda (*job-shop*), além daqueles inerentes às própria peculiaridades da produção sob encomenda, estão associados, dentre outros, a:

- Paradas dos centros de trabalhos devido à quebra;
- Serviços extras;
- Serviços com datas vencidas;
- Longo tempo de ciclo dos serviços;
- Ausência de funcionários;
- Excessivas horas-extras;
- Excesso de instruções de trabalho;
- Alto nível de trabalhos em processos.

Adicionalmente, diversos destes fatores, simultaneamente, num processo de constante interação, provocam a ocorrência de muitos outros problemas. Por exemplo: uma redução na hora-extra pode causar um aumento no tempo de conclusão da atividade e a duração total do projeto pode ultrapassar a data final prevista.

Assim, o PCP da SANGATI-BERGA se depara com uma série de questões críticas. Algumas das mais expressivas referem-se a dificuldades listadas a seguir:

DEFINIR PRAZOS DE ENTREGA

Como enfatizado nos capítulos 1 e 2, a definição de prazos de entrega e o seu cumprimento constitui-se, por diversas razões, um fator de suma importância para os clientes, podendo, inclusive, ser um diferencial competitivo, tendo em vista que este fator é um dos principais elementos na construção de relações de confiança entre clientes e fornecedores; confiança esta, atualmente, cada vez mais exigida nas relações comerciais.

Do ponto de vista do PCP, é bastante complicado, sem apoio de um sistema computadorizado, mensurar a quantidade de horas que já estão assumidas com os serviços que estão sendo fabricados no momento (serviços em andamento) e com aqueles que já estão com pedidos em carteira, já que é bastante grande o número de ordens de fabricação. Outra dificuldade é tentar priorizar pedidos volumosos (conjunto de várias máquinas e equipamentos) ou de clientes “especiais” (clientes que mantêm estreitos e grandes laços comerciais). Nestes casos, quase sempre, o cliente pede preferência e não aceita uma resposta negativa. A dificuldade, portanto, está em buscar uma solução, que em geral vem com o aumento da capacidade produtiva, através de subcontratação, horas-extras, aumento de funcionários, compra de equipamentos etc; ou, na impossibilidade destas alternativas, negociar novos prazos com outros clientes, o que é, dentro da atual filosofia da empresa, a última opção. Portanto, para se definir prazos e cumpri-los com relativa segurança, os dados referentes à situação real e atual dos serviços devem ser os mais precisos e confiáveis possível, a fim de que aquilo que for acordado junto ao cliente seja baseado num contexto factível de realização.

ELABORAR ORÇAMENTO

O orçamento, em última instância, se traduz no sucesso ou na falência da empresa. Hoje, o mercado não aceita mais, devido à acirrada competitividade, o preço

ncia

imposto pelo fornecedor. Quem dita o preço é o mercado; e as empresas buscando se ajustar a esta nova realidade procuram, cada vez mais, cortar gastos, enxugar despesas e definir, com a mais absoluta precisão possível, o preço de seus produtos e serviços.

Não se pode superdimensionar o orçamento, para que não ocorra o afastamento do cliente em função de preços muito fora dos praticados pelo mercado, inclusive o mercado internacional; nem tampouco elaborar um orçamento, que deve ser cumprido sempre, mas que leve a empresa a incorrer em prejuízos, chegando, dependendo do valor, a comprometer o planejamento estratégico do ano ou o planejamento das metas trimestrais.

Assim, para orçar, o orçamentista necessita, além de grande experiência na função, de dados bem estimados, já que muitos pedidos estão sendo fabricados pela primeira vez ou necessitam de adaptações às máquinas-padrões. Neste sentido, os dados colhidos nos apontamentos (tempos de fabricação) são de fundamental importância, já que funcionando como dados históricos servem de base na estimativa de trabalhos similares futuros. Hoje, a empresa adota um sistema de apontamento de todos os serviços executados e os mantém em um banco de dados juntamente com os tempos praticados pela matriz italiana. Uma vez realizado o orçamento, é extremamente importante evitar o desperdício, tanto de materiais como de mão-de-obra. O intuito é sempre o de maximizar a utilização de todos os recursos produtivos e minimizar o tempo de produção.

CÁLCULO DA LOTAÇÃO OU CARGA DE FÁBRICA

A carga de fábrica, lotação de fábrica, ou ainda o nível de capacidade, de forma simplificada, é dado pela comparação entre as horas necessárias para execução das ordens de fabricação e as horas disponíveis, em termos de homens e máquinas, nos respectivos setores onde estas ordens serão executadas.

Para se calcular, ajustar e controlar a carga de fábrica ou nível de capacidade se faz necessário dispor de dados atualizados a todo instante (sistemas de tempo real). Esta, obviamente, seria uma situação ideal e traria dados importantes já que as variáveis são muitas e estão sendo alteradas a todo instante. Para agravar, diversos outros fatores dificultam ainda mais este trabalho, tais como: materiais fora do especificado; acidentes de

trabalho; ausência de funcionários; quebra de máquinas com manutenções não previstas, entre outros.

Por outro lado, este cálculo é de fundamental importância, pois tem como principal finalidade alocar as horas a serem trabalhadas (horas-homem) em cada ordem de fabricação nas respectivas semanas em que deverão ser executadas. Caso se aloque menos horas que a carga disponível há uma ociosidade da capacidade produtiva e, conseqüentemente, a ocorrência de lucro cessante que, hoje, não se pode tolerar. Inversamente, caso se aloque mais horas que a carga de fábrica suporta, haverá atrasos em algumas ordens de fabricação, fazendo-se necessário uma reprogramação destas ordens e, conseqüentemente, uma renegociação de prazos junto ao cliente; a menos que haja uma decisão gerencial de lançar mão de horas-extras, sistemas de turno, serviços externos ou outro artifício que possa gerar as horas necessárias faltantes.

Como pode-se observar, esta é uma situação das mais delicadas na programação da produção. Faz-se necessário, portanto, otimizar, senão matematicamente, pelo menos eficientemente, a alocação dos recursos produtivos, visando maximizar a utilização dos recursos e minimizar a ociosidade.

DISPONIBILIZAR MATERIAIS E EQUIPAMENTOS NO CURTO PRAZO

Como esta empresa trabalha sob encomenda, se torna muito difícil disponibilizar materiais e equipamentos (capital empatado) para todos os pedidos, que inclusive nem se sabe *a priori* que materiais e equipamentos são estes. Para que não haja atrasos na entrega destes pedidos (quando a empresa assume um prazo com o cliente, ela se responsabiliza em garantir o prazo, independente de atrasos ou não de seus fornecedores), todos os prazos de entrega de materiais e equipamentos devem ser conhecidos. Além disso, deve se estabelecer uma relação estável e duradoura com estes fornecedores, fazendo-os se tornarem, se possível, uma extensão da fábrica.

Portanto, na programação da produção, estes prazos (entrega de materiais e equipamentos) devem ser computados a fim de não se incorrer em erros; erros estes que muitas vezes levam a empresas a assumir prejuízos, seja através de uma reprogramação, ou através da aquisição de materiais e equipamentos junto a outros fornecedores, quase sempre

com valores mais elevados, ou ainda buscando outras soluções menos técnicas e mais emergenciais.

PROGRAMAR

O dia a dia de uma empresa que trabalha sob encomenda é extremamente tenso, já que não se tem uma rotina conhecida e repetitiva. Quando se trabalha, então, com uma quantidade muito grande de itens, esta situação é ainda mais complicada, pois tem-se, no mínimo, que programar e controlar tudo que está sendo feito. Na verdade, pode-se dizer que a essência do dia a dia de uma empresa que trabalha sob encomenda na fabricação de máquinas e equipamentos para moinhos é, basicamente, constituído de programações: programação das etapas de projetos, compra de materiais, fabricação, tratamentos superficiais, controle dimensional, teste e inspeções etc.

No caso específico da Sangati-Berga que trabalha, normalmente, com um número disponível de, aproximadamente, 15.000 horas mês e produz cerca de 50 máquinas, o número de itens gerando lista de compras, sendo fabricados simultaneamente, tratados, montados e controlados é muito grande. Praticamente, tem-se, a cada instante, uma peça, um componente . . . um item qualquer sendo fabricado em determinado posto ou setor de trabalho e muitas outros retidos em filas de espera.

Para que não ocorram atrasos nos prazos de entrega e, conseqüentemente, no faturamento, cada item deve ter controlada a sua programação para que no momento da montagem o mesmo esteja disponível. Como pode-se notar, não só o cumprimento dos prazos acordados junto aos clientes é importante, mas também o faturamento. Faturar na data programada é fundamental para o cumprimento das dívidas assumidas junto a fornecedores, pagamentos de salários dos funcionários, contas diversas e outras despesas.

REPROGRAMAR

Além da complexidade inerente ao ambiente de produção sob encomenda, diversos outros fatores contribuem para dificultar o efetivo cumprimento da programação

feita. Dentre estes fatores, os principais são: quebra de máquinas, ausência de funcionários, atrasos de materiais, peças e componente adquiridos de terceiros e, principalmente, erros na estimativa do tempo de execução das atividades.

A variedade de máquinas e equipamentos fabricados é muito grande, o que leva a uma variação, também, dos tempos de fabricação. Há máquinas em que o processo de fabricação dura 3, 4 ou 5 dias; outras levam 30, 60, 90 e até 180 dias ou mais, entre projeto, compra de material, fabricação e teste.

Como, em geral, o número de itens em cada máquina é elevado e sempre há variações (ganho ou perda) nos tempos, principalmente, de fabricação, a diferença entre o tempo programado e o tempo real pode ser bastante significativo. A necessidade, portanto, de reprogramar constantemente é algo impossível de não ser considerado.

ATIVIDADES DO AMBIENTE

As atividades num ambiente de produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos, apesar da aparente tranquilidade, é sempre carregada ou regida por um clima de elevada tensão ou intensa ansiedade. Isto porque não podem haver erros, o número de instruções de trabalho é elevado e, em alguns casos, o serviço é acompanhado por uma espécie de auditor do cliente que, em visitas periódicas, acompanha o trabalho desde o projeto até o teste final.

Outro agravante é que podem ocorrer mudanças no projeto, aumentando as exigências da fabricação, seja no número de horas requeridas, subcontratação de serviço especializado, às vezes até fora do estado, entre outros.

RASTREABILIDADE

Manter informações atualizadas sobre o processo produtivo é fundamental neste tipo de produção sob diversos aspectos. O principal deles está na aceitação de novos pedidos. Para assumir novos pedidos e definir novos prazos de entrega, a empresa precisa saber como estão caminhando os trabalhos já assumidos.

Outro aspecto é o de estar preparado para responder aos questionamentos feitos pelos clientes a respeito de suas encomendas. É comum a solicitação, por parte do cliente, do cronograma dos eventos já ocorridos e os eventos futuros, para que ele possa mensurar se o atendimento acontecerá no prazo, ou ainda para avaliar se poderá, ou não, solicitar mudanças no projeto.

Por tudo isto, é fundamental manter um sistema de informações atualizado sobre todo o processo produtivo.

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

O acompanhamento das atividades com o intuito de saber se elas ocorreram dentro do tempo previsto ou não, ou se dentro do processo de fabricação ocorreram falhas e algumas atividades tiveram que ser repetidas, é de extrema importância. Convencionalmente, estes problemas só seriam detectados após o término do trabalho, não tendo mais o que fazer. Como consequência, a empresa poderia incorrer em grandes prejuízos, já que nada foi feito para reprogramar os gastos.

Assim, somente com um sistema de controle pode-se avaliar o desempenho da empresa como um todo. Ou seja, avaliação de desempenho dos funcionários, avaliação dos tempos de fabricação, avaliação do desempenho financeiro da empresa etc.

4.3 MODELO ORGANIZACIONAL DO PCP

Com o objetivo de atender às particularidades da empresa, sua infraestrutura produtiva disponível, a expectativa de seus clientes e, principalmente, no que tange a visão e gestão de sua administração, a empresa possui um modelo organizacional de PCP, o qual leva em conta os três níveis hierárquicos abordados nos itens 2.1 e 3.3. Isto é: níveis estratégico, tático e operacional.

No nível estratégico, onde são definidas as políticas de longo prazo da empresa, a diretoria estabelece o Plano Estratégico da Produção. Neste Plano, são previstos

os investimentos para as diversas áreas da empresa, a contratação ou demissão de pessoal, compra de máquinas e equipamentos, é definido o resultado esperado para o ano, entre outras definições de caráter estratégicas.

O PCP, de posse deste Plano, baseado em dados provenientes do Departamento Comercial, tais como: pedidos em carteira e previsões de vendas; em dados oriundos da área industrial, como: avaliação de desempenho, controle da produção etc; e outros dados relevantes provenientes das outras áreas, da matriz e do mercado como um todo, gera o Plano de Produção. Neste caso específico, o horizonte de planejamento desta etapa é de um ano.

Uma vez definido o Plano de Produção Anual, o PCP define a capacidade de produção, o que é feita com base no potencial instalado e a área comercial define as estratégias de vendas, já que é a área responsável por gerar negócios para a empresa. Isto deve ser feito de tal forma a se contemplar o Plano de Produção Anual previsto.

No nível tático são definidos os planos de médio prazo para a produção. Neste nível, o PCP estabelece o Planejamento-mestre da Produção e, através deste, obtém-se o Plano-mestre de Produção. Neste caso, como a empresa trabalha sob encomenda, o Plano-mestre de Produção é definido, apenas, com base nos pedidos em carteira, já que não se produz para estoque e não se pode prever que tipo de máquina ou equipamento entrará em carteira.

Obviamente, alguns componentes, em geral os de baixo custo, são adquiridos baseados em previsões e históricos de vendas. Outros componentes, difíceis de serem encontrados no mercado ou que demoram muito tempo para serem fornecidos, são adquiridos, mas apenas em quantidades mínimas.

Nesta etapa, o horizonte de planejamento ou meta é de 3 meses. Nesta meta trimestral, tem-se os valores de horas já comprometidas com os serviços em andamento, com as exigidas pelos pedidos já confirmados em carteira, são definidas quais as máquinas e equipamentos serão fabricadas, as datas de entrega, a data mais tarde para iniciar o serviço sem comprometer o prazo acordado, as condições de pagamento, as quais são remetidas ao Departamento Financeiro após a conclusão do serviço, entre outros. A data mais tarde para iniciar o serviço sem comprometer o prazo de entrega é feito baseado em estimativas do tempo de fabricação da máquina ou equipamento solicitado, em tempos históricos quando

houver ou baseado no tempo-padrão de máquinas ou equipamentos similares fabricados na matriz. Atualmente, existem muitos erros nestas definições.

Nesta etapa, são preparadas as instruções de serviço, são liberadas as Ordens de Compra e definidos os projetos, pela área técnica, que vão acompanhar as Ordens de Fabricação. São, também, programados os pedidos que entram em carteira (por ordem de chegada) para definição da data de entrega. Esta data é repassada à Área Comercial para negociação, sem autonomia para alterar deliberadamente a programação já comprometida. Qualquer negociação de prazos de entrega deve ser feita com o aval do PCP e da Diretoria.

Para facilitar a programação do trimestre, a empresa é dividida em vários setores e calculada a carga produtiva do setor. Isto é feito, multiplicando-se o número de homens alocados em cada setor pelo número de dias úteis do trimestre e pelo número de horas-dia, que no caso é de 8,8 horas. Desta forma, tem-se o número de homens-hora trimestral por setor.

Cada máquina e equipamento a ser produzido deve ter sua rede construída com base na sua passagem pelos setores da empresa. O tempo que uma máquina ou equipamento consome num determinado setor constitui, na verdade, a duração de várias tarefas, aqui, para simplificação, tratada como uma única atividade. Isto é, se uma máquina consome 10 horas do setor de usinagem, tem-se para a “atividade” usinagem, uma duração de 10 horas, não importando quais tarefas foram realizadas neste setor. Isto é feito para todos os setores da empresa: preparação, corte à *laser*, viradeira, caldeiraria, pintura base, usinagem, marcenaria, montagem e pintura final.

Neste nível, para facilitar o acompanhamento do plano trimestral, por parte da gerência, adotou-se, em alguns setores, um painel com cartões semelhante ao adotado pelo sistema *kanban*. Trata-se de um painel com três cores (vermelho, amarelo e verde), onde cada cor representa um mês do plano-mestre de produção ou meta trimestral. Um cartão, para cada máquina ou equipamento é colocado no painel “*kanban*”. Ou seja, para o mês de agosto, por exemplo, planejou-se fabricar 15 máquinas; 12 no mês de setembro e 16 no mês de outubro. No painel, então, são colocados os cartões correspondentes a cada máquina e na cor correspondente a cada mês. Isto é, 15 cartões correspondentes às 15 máquinas para o mês de agosto na cor vermelha; 12 cartões para o mês de setembro na cor amarela e 16 cartões para o mês de outubro na cor verde.

À medida que as máquinas vão saindo de um setor e entrando noutra, os cartões vão se deslocando para os painéis subsequentes. Com este mecanismo, a gerência não precisa acompanhar o desenrolar do serviço nos diversos locais onde estão se processando. Basta, para ter uma visão geral, se dirigir aos painéis “kanban” espalhados em alguns setores da fábrica e verificar os cartões referentes a cada máquina ou equipamento.

Muito embora este sistema tenha sido batizado de *kanban*, se sabe que o sistema *kanban* foi desenvolvido na década de 60 pelos engenheiros da *Toyota Motors Cia.* com o objetivo de tornar simples e rápida as atividades de programação, controle e acompanhamento de sistemas de produção em lote, garantindo uma produção puxada em um ambiente JIT; o que não o caso em estudo.

No nível operacional, são preparados os programas de curto prazo de produção e acompanhamento dos mesmos. O PCP, neste nível, prepara e realiza a Programação da Produção administrando os estoques, seqüenciando as atividades, emitindo e liberando as Ordens de Compras, Ordens de Fabricação e realizando o Acompanhamento e Controle da Produção, através dos apontamentos dos serviços.

O horizonte de planejamento aqui é semanal, muito embora, em decorrência dos replanejamentos, se façam ajustes diários ou quinzenais. No caso específico dos apontamentos, eles são recolhidos nas sextas-feiras e processados na semana seguinte, o que tem dificultado bastante a obtenção de uma programação adequada. Tal atitude, no entanto, se justifica na medida em que o apontamento é encarado, neste momento, apenas como o início de uma mudança de postura administrativa; e também, como início da criação de um banco de dados e como parâmetros para análise de desempenho individual e do setor.

O que se planeja para um futuro próximo é ter pessoal específico para fazer e/ou recolher, processar e analisar tais dados, já que são de extrema importância na programação da produção, na definição dos custos de produção, no desenvolvimento de programas de treinamento, na implantação de sistemas da qualidade, na contratação e/ou demissão de pessoal, entre outros.

No seqüenciamento da produção faz-se uso do sistema desenvolvido baseado no método PERT/CPM e as heurísticas do CMCR (Comprimento Máximo do Caminho Restante) e CROC (Convergência dos Recursos na Otimização do Caminho). Para tanto, cada máquina e equipamento a ser produzido deve ter sua rede de atividades

construída ou, pelo menos, o quadro de seqüenciação, onde são discriminadas as atividades, as imediatamente predecessoras e as imediatamente sucessoras de cada uma delas.

Deve ser fornecida, também, a duração de cada atividade, assim como todos os recursos produtivos que ela exige. No caso em estudo, tem-se enfrentado grandes dificuldades no estabelecimento desta durações. Sempre há erros, estimando-se acima ou abaixo do tempo realmente praticado. Obviamente, este é um problema de fácil solução; exige-se, somente, tempo para os registros dos apontamentos e um pouco mais de experiência dos planejadores, que apesar de muito tempo na função, nunca se preocuparam em registrar o tempo consumido por cada atividade durante a fabricação de uma máquina.

No caso dos recursos produtivos, a mão-de-obra constitui-se, hoje, no recurso-gargalo da empresa. Ou seja, em todos os setores da empresa, sobram equipamentos, ferramentas e instrumentos de apoio às atividades, já que a empresas, anos atrás, já foi bem maior. A crise mundial e, especificamente, a crise brasileira provocou um número muito grande de demissões nos últimos anos. A única exceção é o setor de usinagem, onde não se tem um número de máquinas capaz de atender à demanda.

4.4 O SISTEMA DE APOIO DESENVOLVIDO PARA O PCP

O sistema de apoio desenvolvido para o PCP possui uma tela principal conforme mostra a figura 4.2, a seguir. Através desta tela, o operador do sistema, ao clicar os respectivos ícones, poderá criar novos projetos, onde cada projeto representa uma máquina ou equipamento encomendado; pode abrir projetos já existentes, os quais poderão ser reutilizados quantas vezes se desejar; cadastrar os recursos produtivos, tais como: máquinas, ferramentas, equipamentos de apoio, operadores, ou os setores produtivos; selecionar os recursos a serem utilizados num determinado projeto, verificar o cálculo das folgas, visualizar a rede de atividades de cada projeto, o gráfico de Gantt com a respectiva programação das atividades, visualizar a utilização de cada recurso produtivo num determinado projeto, acessar a tela de apontamentos das atividades, entre outros recursos

que a tela oferece, tais como: salvar, salvar como, sair, abrir, acessar editor de texto, calculadora etc.

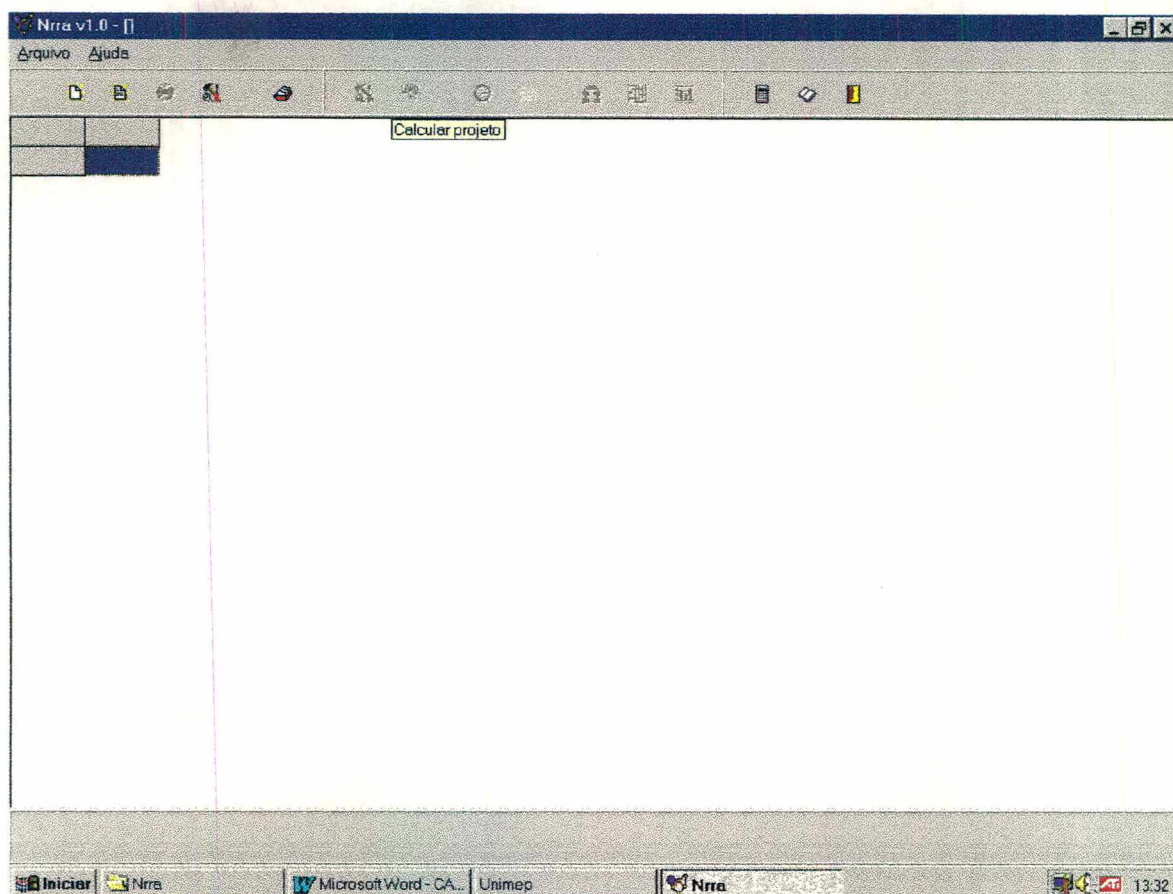


Fig. 4.2- Tela principal do sistema.

O cadastro de recursos deverá ser quantificado, já que sua utilização será feita mediante a real disponibilização. Isto é, a alocação de um recurso a uma determinada atividade somente será realizada à medida que o recurso produtivo requerido, que é finito e portanto pode ser insuficiente para a realização de atividades paralelas, for sendo liberado pelas atividades processadas anteriormente. Toda vez que um recurso é liberado, este volta para o banco de cadastro de recursos e fica à disposição a partir daquele momento para novas alocações.

A figura 4.3 mostra a tela principal, agora com a criação de um novo projeto. Para tanto, deve-se nomear o novo projeto e indicar o número de atividades que

compõe este projeto. As atividades poderão ser substituídas pelos setores da fábrica por onde o projeto deve passar durante a fabricação. Por exemplo: usinagem, pintura, soldagem, corte a *laser*, montagem etc. Evidentemente, isto depende de como a rede de atividades da máquina ou equipamento é desenvolvida.

Ao clicar o ícone Iniciar, uma nova tela aparece para que se selecione os recursos necessários a este projeto. Tais recursos devem ser, previamente, cadastrados. Vale ressaltar que o cadastro de recursos pode ser feito a qualquer momento, assim como a inserção de novos recursos a um determinado projeto.

Ao clicar o ícone Sair, a tela de criação de um novo projeto desaparecerá, e permanecerá a tela principal do sistema. A figura 4.4 mostra o exposto acima.

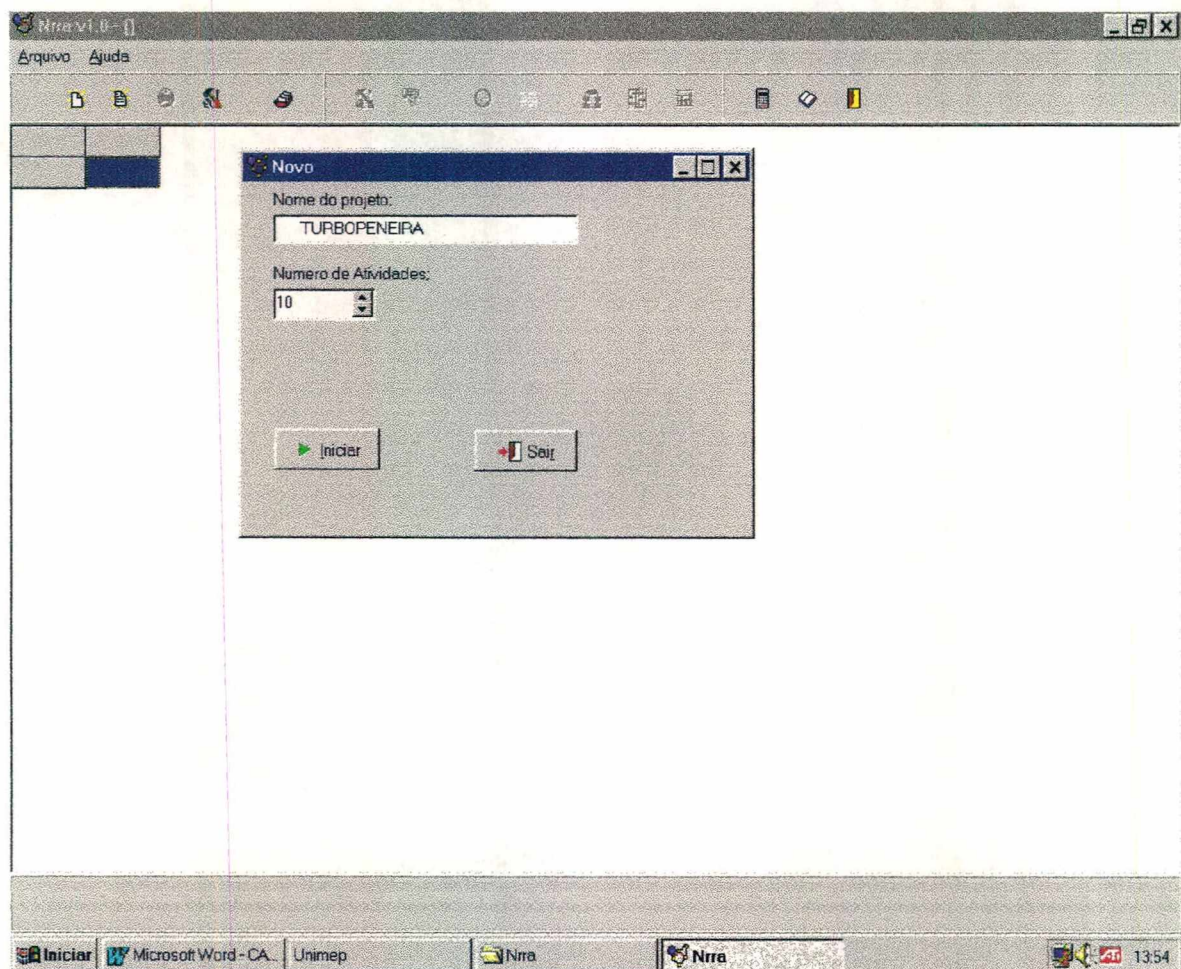


Fig. 4.3- Tela principal do sistema com tela para criação de um novo projeto.

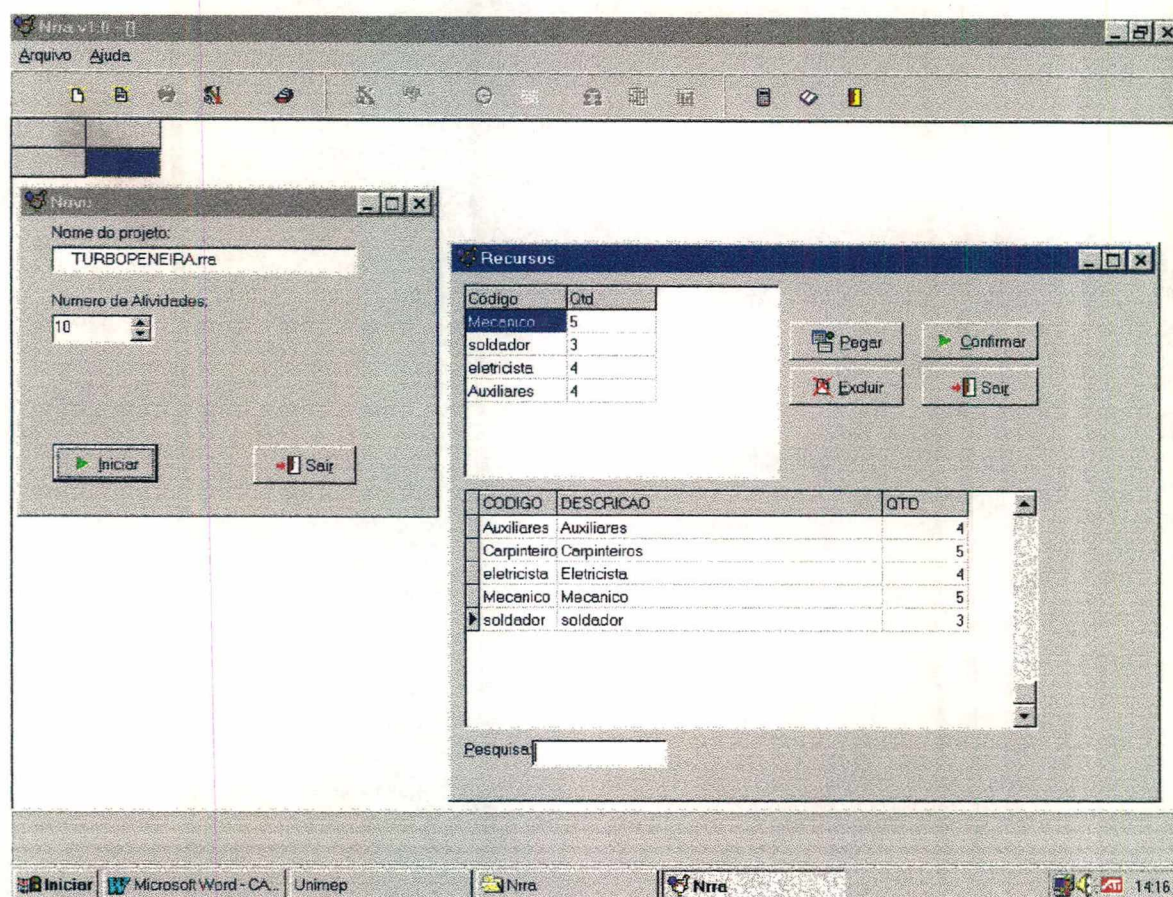


Fig. 4.4- Tela de seleção de recursos para um novo projeto.

Para esta seleção, basta clicar sobre cada recurso desejado e, em seguida, sobre o ícone Pegar. Automaticamente, o sistema irá colocando os recursos desejados no campo esquerdo superior da referida tela. Caso se deseje excluir, seleciona-se, inicialmente, o recurso a ser excluído e clica sobre o ícone Excluir.

Uma vez selecionado os recursos desejados, clica-se sobre o ícone Confirmar, e uma nova tela aparecerá, a qual é mostrada na figura 4.5, a seguir. Esta tela contém o número de atividades requerida, os recursos desejados para sua execução, bem como 3 colunas necessárias aos cálculos da rede PERT/CPM. Isto é: as colunas Precede, Sucede e de Duração de cada atividade.

Caso, seja clicado o ícone Sair, a mesma tela aparecerá, no entanto sem nenhum recurso, já que não foi confirmado recursos para este projeto. A figura 4.6 mostra esta situação.

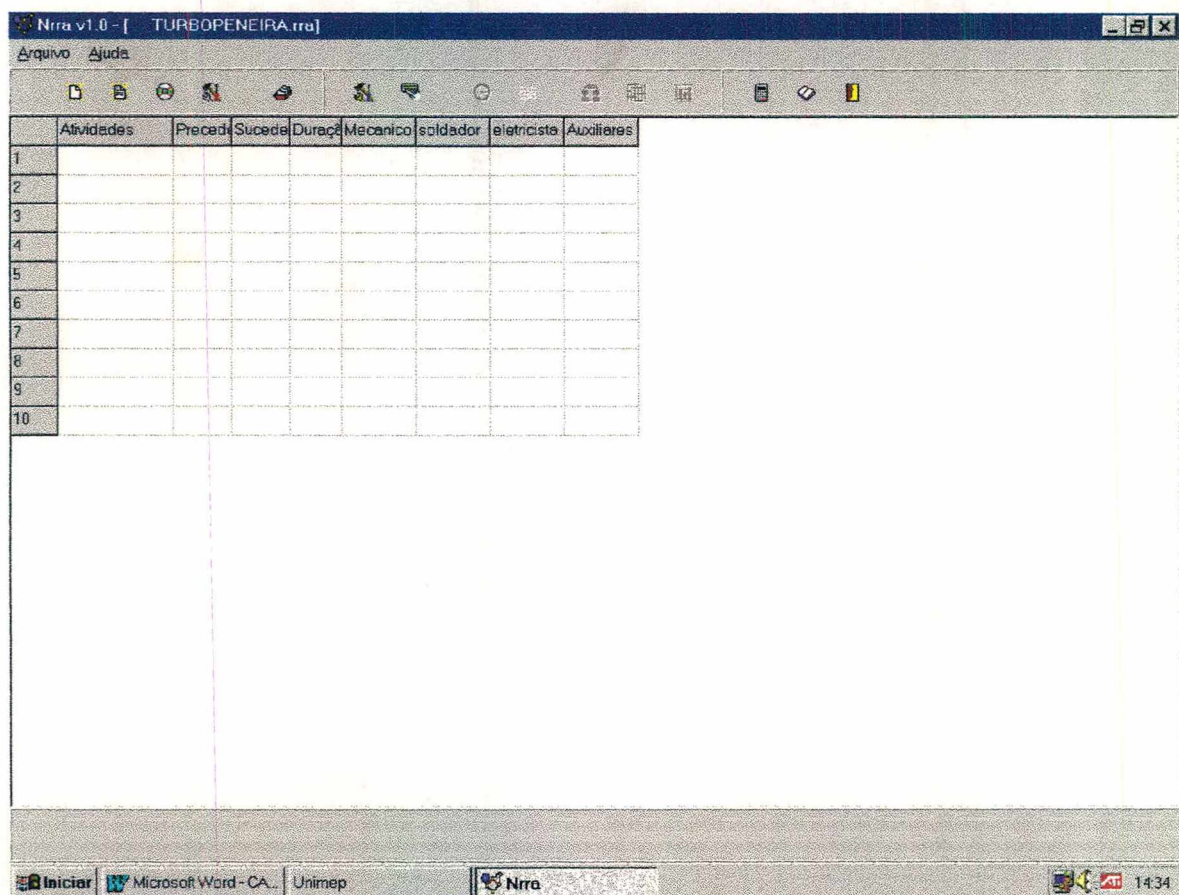


Fig. 4.5- Tela para descrição das atividades com quadro de seqüenciação, duração das atividades e quantidade de recursos requerida por cada atividade.

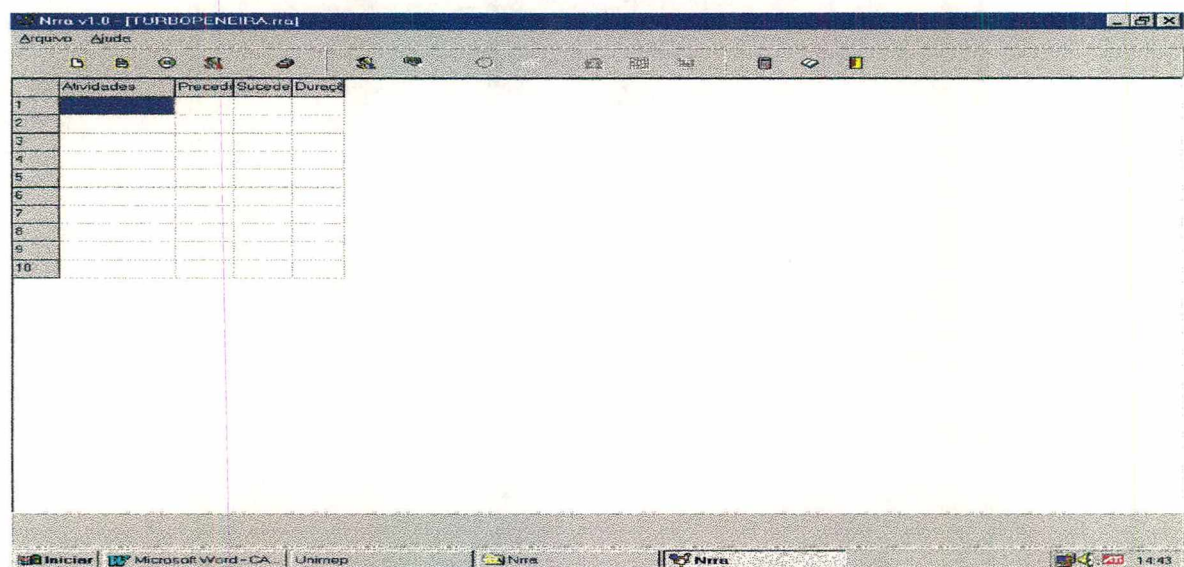


Fig. 4.6- Situação onde não foi selecionado nenhum tipo de recurso para o projeto.

Caso um projeto esteja arquivado, para abri-lo basta clicar sobre o ícone Abrir Projeto, na tela principal do sistema. Uma nova tela aparecerá com todos os projetos que foram salvos. Seleciona-se o projeto desejado e clica-se sobre o ícone Abrir. O Projeto será aberto, automaticamente, como foi salvo. A figura 4.7 mostra a tela para abrir um projeto já existente.

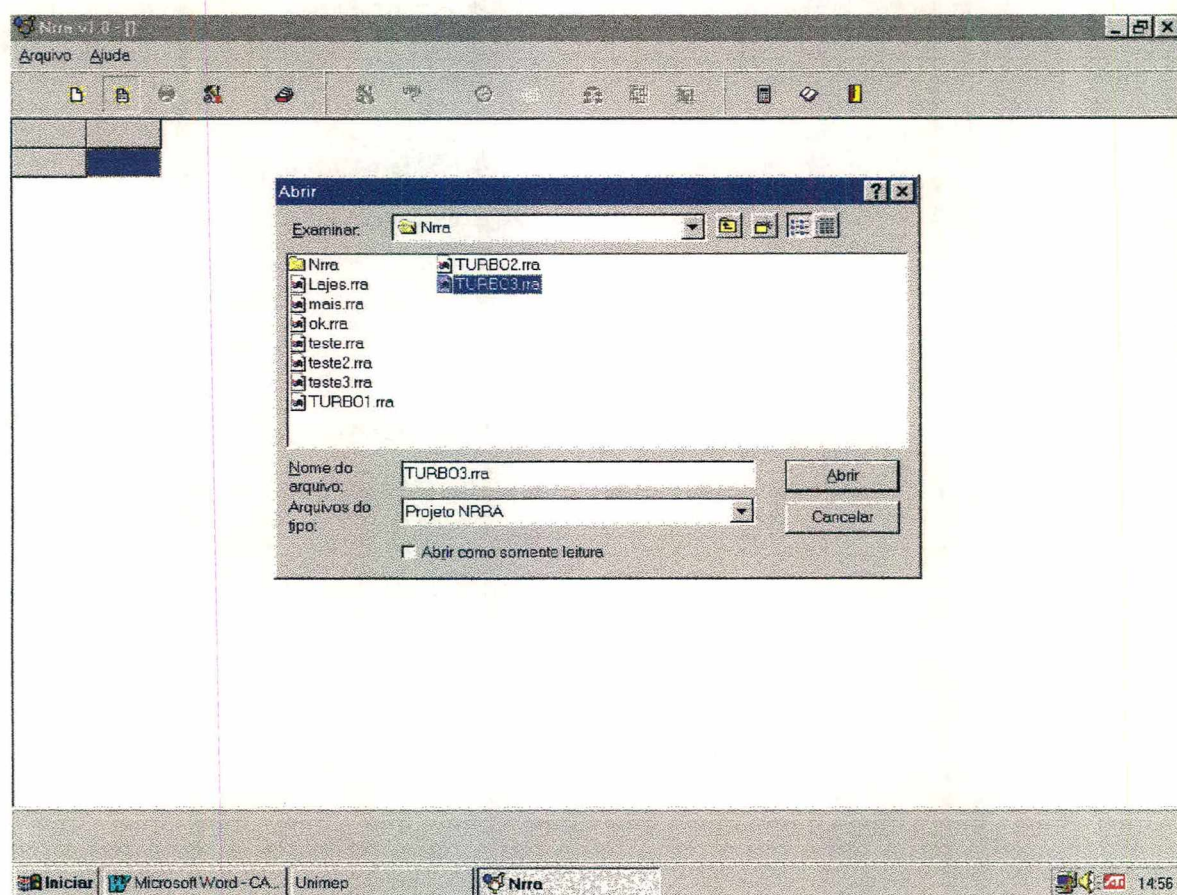


Fig.- 4.7- Tela para abrir projetos já existentes.

Para fazer os apontamentos, clica-se no ícone Projetos, na tela principal. Uma nova tela aparecerá, onde se seleciona o projeto que se deseja fazer os apontamentos. Clica-se no ícone Apontamento e uma nova tela aparecerá, onde o apontamento deve ser feito. Esta operação permite a atualização automática da rede de atividade e, conseqüentemente, de toda a programação à frente. A figura 4.8 mostra o exposto.

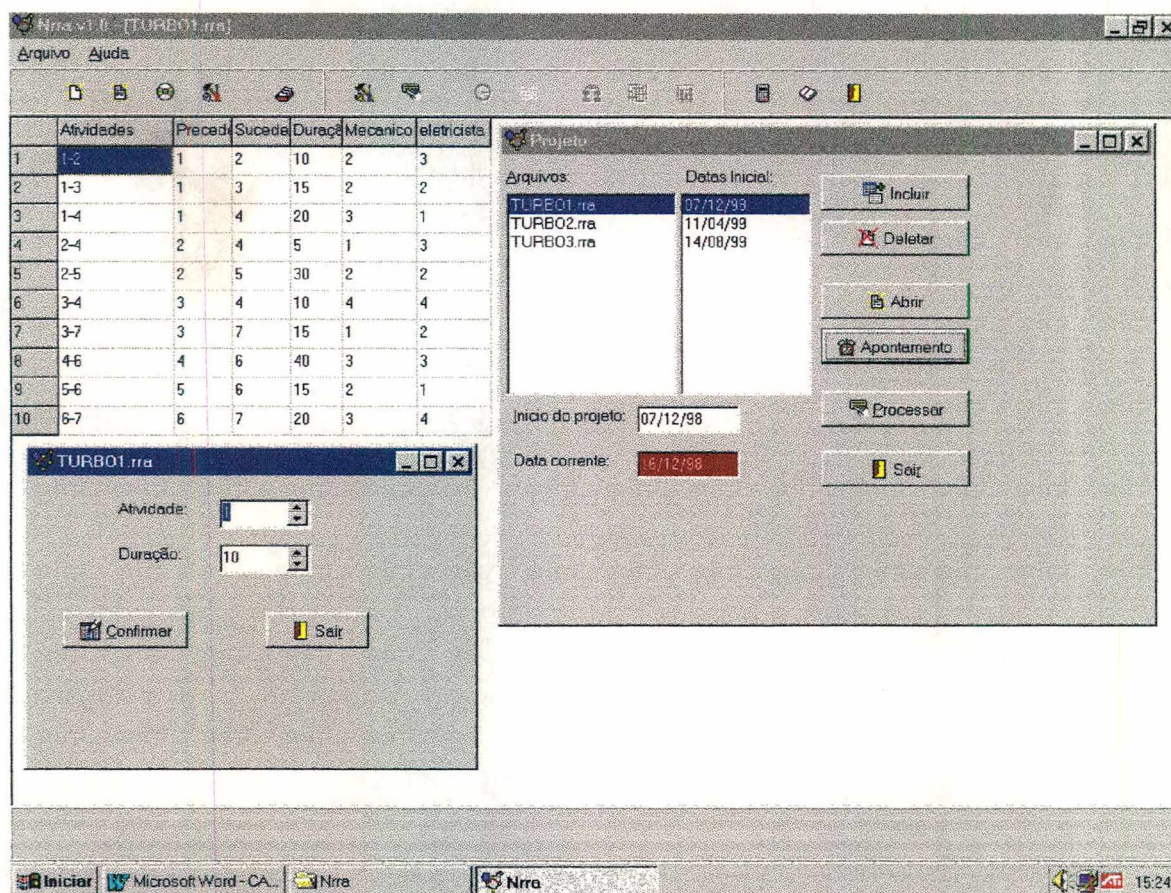


Fig. 4.8- Tela para apontamentos das atividades.

4.5 RELATÓRIOS DO SISTEMA DE APOIO E APLICAÇÃO DAS HEURÍSTICAS CMCR/CROC

Uma vez selecionado um projeto existente ou criado um novo projeto, deve-se calculá-lo. Isto é, deve-se clicar sobre o ícone Calcular Projeto na tela principal do sistema. Nesta operação, calculam-se as folgas total, livre, dependente e independente, o caminho crítico, o CMCR e o CROC para a priorização das atividades, bem como as datas de início e fim de cada atividade, baseadas na melhor situação calculada. É calculado, também, o nível de utilização de cada recurso alocado ao projeto. As figuras 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14 mostram as situações descritas acima.

	Atividades	Precede	Sucede	Duraç	Carpinteiro	Auxiliares
1	at1-1/2	1	2	6	4	4
2	at2-2/3	2	3	5	3	4
3	at3-2/10	2	10	3	3	3
4	at4-3/4	3	4	4	2	3
5	at5-3/5	3	5	4	1	1
6	at6-3/10	3	10	4	4	4
7	at7-4/5	4	5	4	2	3
8	at8-5/6	5	6	8	3	2
9	at9-6/7	6	7	4	1	2
10	at10-7/8	7	8	12	1	2
11	at11-8/9	8	9	8	2	2
12	at12-8/10	8	10	4	2	1
13	at13-9/10	9	10	16	1	1

Fig. 4.9- Tela para calcular projeto.

Após a criação de um novo projeto ou selecionado um projeto já existente, deve-se calculá-lo. Isto é feito ativando, na tela principal do sistema, o ícone Calcular Projetos. Automaticamente, os cálculos são realizados internamente e armazenados para posterior apresentação. Neste cálculo, são determinadas as folgas total, livre, dependente e independente, a programação das atividades, com data de início e fim de cada uma delas, utilizando-se, nos cálculos, as folgas total, livre, dependente e independente, conforme o valor do $CMCR_{ij}$ e do valor do $CROC_{ij}$.

Para o PCP, o mais importante neste cálculo é a priorização das atividades determinada pelas heurísticas do CMCR e do CROC e as datas de início e término de cada atividade, que é função dos recursos múltiplos restritos disponíveis para a produção. As figuras 4.10 e 4.11 mostram as folgas e a programação.

Atividades	FD	FT	FI	FL
at1-1/2	0	0	0	0
at2-2/3	0	0	0	0
at3-2/10	58	58	58	58
at4-3/4	0	0	0	0
at5-3/5	4	4	4	4
at6-3/10	52	52	52	52
at7-4/5	0	0	0	0
at8-5/6	0	0	0	0
at9-6/7	0	0	0	0
at10-7/8	0	0	0	0
at11-8/9	0	0	0	0
at12-8/10	20	20	20	20
at13-9/10	0	0	0	0

Fig. 4.10- Cálculo das folgas Total, Livre, Dependente e Independente.

Neste relatório são mostradas as folgas total, livre, dependente e independente de cada atividade do projeto. Este resultado permite a rápida identificação de todas as atividades que merecem uma maior atenção por parte do PCP, já que, em função das folgas de cada atividade é possível ter uma idéia de criticidade do projeto. Das quatro folgas definidas anteriormente, duas merecem destaque: a folga total e folga dependente. Isto porque tais folgas se referem, ambas, à data mais tarde do evento fim, ou seja, a uma data tal que, se ultrapassada, acarretará transtornos no projeto.

Vale ressaltar que, neste caso, a data de conclusão do projeto pode não coincidir com aquela data determinada tradicionalmente pelo PERT/CPM, já que ali a lógica utilizada é a de recursos infinitos, isto é: planeja-se com capacidade infinita e, posteriormente, nivela-se os recursos necessários. Aqui, a data final do projeto é função da

disponibilidade de recursos, já que a lógica usada é a de recursos múltiplos restritos ou capacidade finita.

Com relação às folgas, o PCP deve também estar atento àquelas atividades que, embora tenham bastante folga, possam sofrer alguma interferência externa como por exemplo: atrasos na entrega de materiais, erros de fabricação, quebra de máquinas etc, consumindo assim parte ou toda a folga disponível; e, portanto uma possível alteração do caminho crítico.

Resultado FDep 71											
FDep	DI	DF	FTotal	DF	DI	FInd	DI	DF	FLivre	DI	DF
at1-1/2	0	6	at1-1/2	0	6	at1-1/2	0	6	at1-1/2	0	6
at2-2/3	6	11	at2-2/3	6	11	at2-2/3	6	11	at2-2/3	6	11
at4-3/4	11	15	at4-3/4	11	15	at4-3/4	11	15	at4-3/4	11	15
at5-3/5	11	15	at5-3/5	11	15	at5-3/5	11	15	at5-3/5	11	15
at7-4/5	15	19	at7-4/5	15	19	at7-4/5	15	19	at7-4/5	15	19
at8-5/6	19	27	at8-5/6	19	27	at8-5/6	19	27	at8-5/6	19	27
at9-6/7	27	31	at9-6/7	27	31	at9-6/7	27	31	at9-6/7	27	31
at10-7/8	31	43	at10-7/8	31	43	at10-7/8	31	43	at10-7/8	31	43
at11-8/9	43	51	at11-8/9	43	51	at11-8/9	43	51	at11-8/9	43	51
at12-8/10	43	47	at12-8/10	43	47	at12-8/10	43	47	at12-8/10	43	47
at13-9/10	51	67	at13-9/10	51	67	at13-9/10	51	67	at13-9/10	51	67
at3-2/10	51	54	at3-2/10	51	54	at3-2/10	51	54	at3-2/10	51	54
at6-3/10	67	71	at6-3/10	67	71	at6-3/10	67	71	at6-3/10	67	71

Fig. 4.11- Resultado da programação das datas de início e fim das atividades baseada na folga dependente.

Neste resultado, o PCP tem a programação de todas as atividades do projeto, com datas de início e de fim de cada uma delas em função da disponibilidade de recursos. Neste cálculo, são utilizadas as folgas total, dependente, livre e independente, conforme são solicitadas pelas equações do CMCR e CROC. É dado destaque ao melhor

resultado da programação. Em caso de empate, é mostrado o resultado da primeira coluna, correspondente ao cálculo baseado na folga dependente.

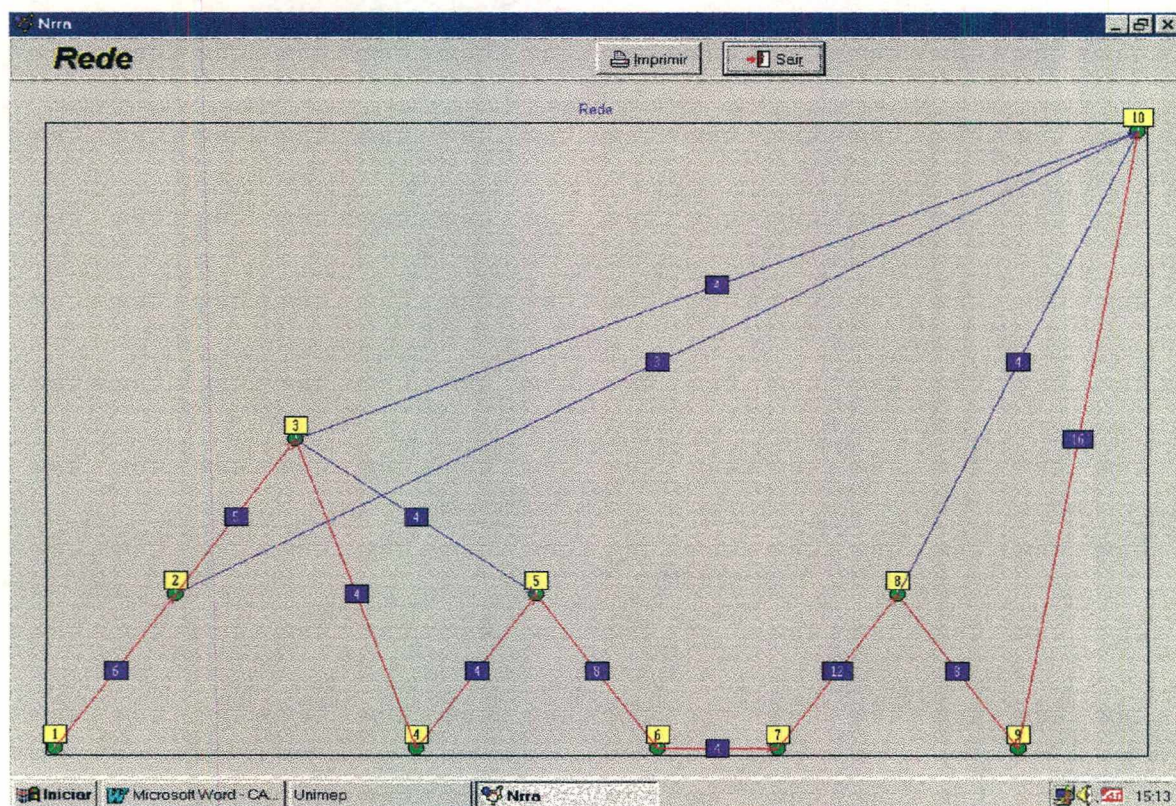


Fig. 4.12- Rede de atividades PERT/CPM com o caminho crítico.

Para facilitar a visualização da criticidade das atividades que compõem o projeto, é mostrada a rede de atividades PERT/CPM, baseada no quadro de seqüenciação fornecido no início, quando da criação de um novo projeto, assim como é mostrado o caminho crítico. Como dito, anteriormente, caminho crítico é todo caminho de maior duração em um projeto, compondo-se, embora não necessariamente, de uma seqüência de atividades críticas.

O acompanhamento, por parte do PCP, de toda a dinâmica dos eventos que compõem um projeto é de fundamental importância, pois as durações estimadas de cada

atividade quase sempre não refletem a realidade, ou seja: a duração real da atividade é maior ou menor que a estimada inicialmente, quando da elaboração do quadro de seqüenciação. Através dos apontamentos, o sistema é atualizado e, conseqüentemente, alterada a programação.

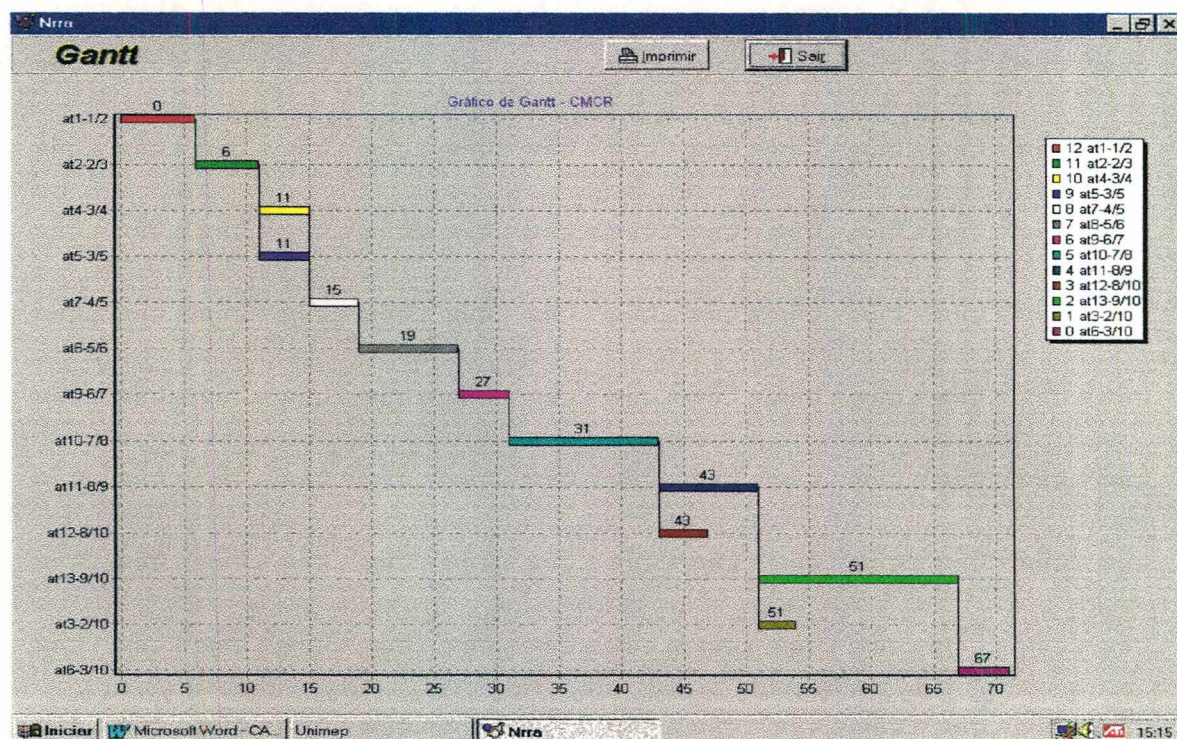


Fig. 4.13- Gráfico de Gantt com a programação das atividades.

A figura 4.13 mostra o gráfico de Gantt com a programação das atividades de um projeto. O PCP, de posse destas datas, emite as ordens de fabricação e montagem, através da programação semanal; fornece prazos de entrega para o departamento de vendas e solicita material para o departamento de compras e para o setor de suprimentos.

Esta programação é feita para cada projeto, separadamente, à medida que o pedido entra na fábrica. Isto evita que uma determinada máquina tenha uma de suas atividades preterida e sua conclusão prejudicada.

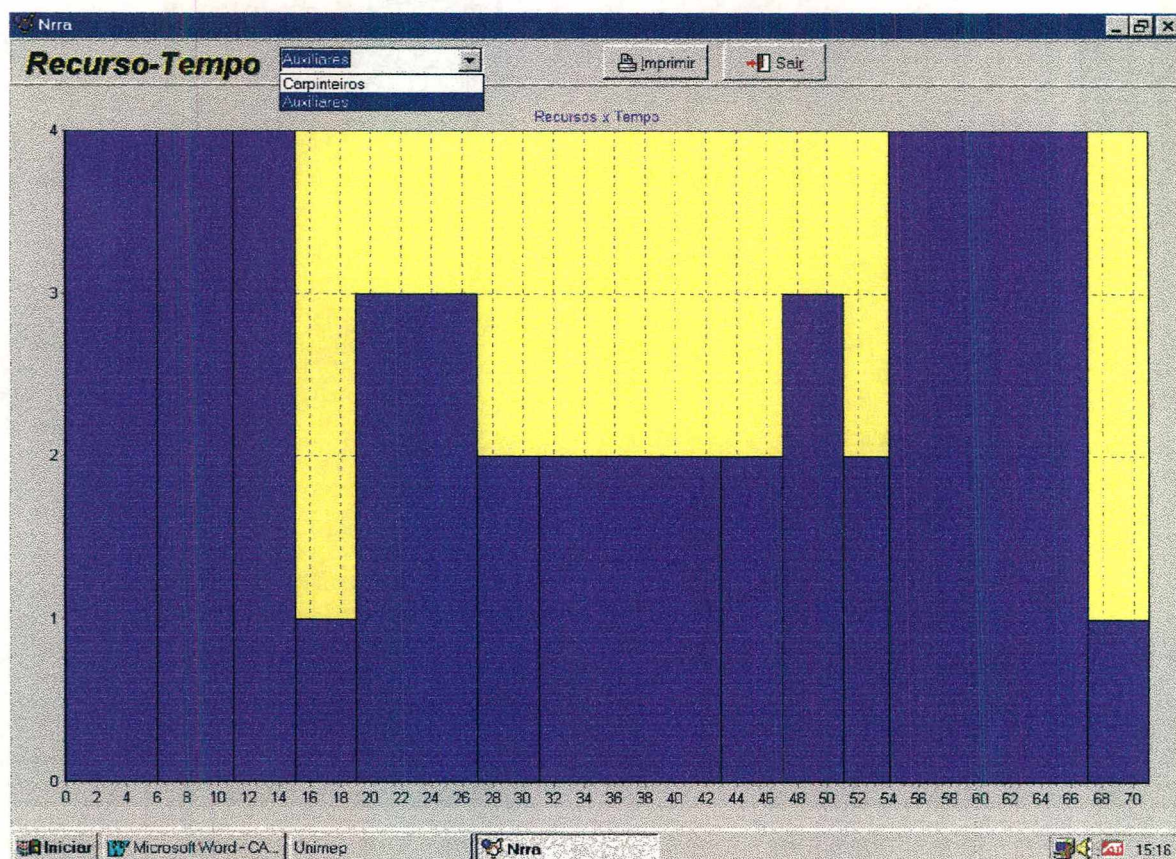


Fig. 4.14- Tela mostrando a utilização do recurso produtivo durante a execução do projeto.

A tela, acima, mostra a utilização do recurso produtivo durante toda a execução do projeto. Tem-se, no caso, dois relatórios: um baseada nas durações estimadas para cada atividade e outro que reflete a utilização real do recurso produtivo, o qual é baseado nos apontamentos. Isto é, nas durações reais de cada atividade.

Este dado é de grande importância, pois o PCP e a gerência, como um todo, tem como avaliar o desempenho dos funcionários, avaliar os tempos de fabricação, avaliar o desempenho financeiro da empresa etc.

Vale ressaltar que o recurso produtivo, aqui, se refere a um funcionário, como um soldador ou um pintor; a uma máquina ou equipamento de apoio, como um torno, uma fresadora ou um guincho; ou um setor de produção, como o setor de usinagem, de caldeiraria ou o setor de corte, por exemplo.

A utilização, por parte do PCP, de cada tela ou resultado é feita simplesmente ativando na tela principal do sistema (barra de ferramentas) o ícone correspondente, já que todos eles são colocados à disposição do usuário quando da ativação do ícone Calcular Projeto. Se o cálculo é realizado com sucesso, todos os resultados ficam armazenados para consultas através de seus respectivos ícones. Caso ocorra algum problema, é emitida uma mensagem de erro, para as devidas correções.

4.6 RESULTADOS OBTIDOS

Muito embora os resultados obtidos sejam parciais, pode-se destacar alguns ganhos significativos para o PCP, especialmente; embora outros departamentos, tais como Vendas, Compras e Departamento Técnico também tenham obtidos ganhos.

Dentre os principais ganhos obtidos, de uma forma geral, podem-se destacar:

- ❖ **Definir prazos de entrega:** este é um ponto crítico para o PCP e para o Departamento de Vendas. Embora não se tenha, ainda, as redes de atividades desenvolvidas para todas as máquinas e equipamentos que a empresa fabrica (estão sendo elaboradas), assim como os tempos-padrões para cada uma delas, as que já foram elaboradas e os tempos disponíveis são suficientes para afirmarmos que este método fornece com rapidez e com razoável confiabilidade o prazo de entrega para posterior negociação com o cliente. Cabe destacar que a confiabilidade a que nos referimos não é inerente ao método adotado, mas aos dados que lhes são fornecidos. Quanto melhor for a rede, quanto mais real for a duração de cada atividade e quanto mais homogêneo e contínuo for o processo produtivo mais confiável será o resultado da programação. Como a dinâmica da empresa muitas vezes foge ao controle de quem a dirige, quanto mais rápida as medidas corretivas, também, mais rápida e confiável será o seu retorno ao rumo previsto. Desta forma, o acompanhamento e controle de todas as atividades, os apontamentos e a constante atualização de dados são fundamentais.
- ❖ **Elaborar Orçamentos:** a partir do momento em que sabe-se o tempo real de fabricação de uma determinada máquina ou equipamento e a real utilização dos recursos

produtivos, a elaboração dos futuros orçamentos fica bastante facilitado. O presente sistema acena como uma real possibilidade de permitir a elaboração de um orçamento mais realista que o que vem sendo praticado, muito embora é evidente que esta é uma tarefa que depende de muitos outros fatores, tais como: custo de material, preço da concorrência, tecnologia envolvida etc.

- ❖ **Cálculo da lotação ou carga de fábrica:** neste caso, os ganhos são bastante expressivos, já que o principal objetivo do método é minimizar o tempo de fabricação de cada máquina ou equipamento e maximizar a utilização dos recursos produtivos.
- ❖ **Disponibilizar materiais e equipamentos no curto prazo:** como a empresa trabalha sob encomenda, se torna muito difícil disponibilizar materiais e equipamentos para todos os pedidos, mesmo para aqueles pedidos já em carteira (capital empatado). Este método permite, através de uma programação das atividades mais elaborada, a aquisição de materiais, sejam eles comprados ou fabricados internamente, no curto prazo com maior segurança. Quando não se tem uma boa programação, o risco de se incorrer em erros, como falta de materiais, suprimentos etc, é constante. Esta heurística, para este caso, permite, também, além da alocação dos recursos produtivos, a alocação de materiais e suprimentos em cada atividade. Sabendo-se o que vai-se consumir, a heurística alocaria todo o material, peças etc àquela atividade e daria baixa no inventário ou, caso não estivesse à disposição, solicitaria compra ou fabricação.
- ❖ **Programar:** neste caso, também, os ganhos são expressivos, pois o método tem como resultado fornecer uma programação das atividades baseada no método PERT/CPM associado às heurísticas CMCR e CROC e na disponibilidade de recursos produtivos.
- ❖ **Reprogramar:** através dos apontamentos, os quais permite a atualização do sistema constantemente, a função de reprogramar, tão importante em ambientes de produção sob encomenda, fica bastante facilitada. Neste caso, os ganhos são, também, significativos.
- ❖ **Rastreabilidade:** Para assumir novos pedidos e definir novos prazos de entrega, a empresa precisa saber como estão caminhando os trabalhos já assumidos. Mais ainda, deve estar, também, preparado para responder aos questionamentos feitos pelos clientes a respeito de suas encomenda. Neste caso, os ganhos são incipientes, muito embora possa se aperfeiçoar o sistema de tal forma a fornecer de uma forma mais rápida os

principais dados de interesse dos clientes. Neste trabalho, não houve uma maior preocupação neste sentido, embora seja perfeitamente viável, tecnicamente.

- ❖ **Avaliação de desempenho:** os ganhos são significativos, já que cada recurso tem sua utilização avaliada separadamente. Além disso, através da programação e dos apontamentos, muitos dados estão sendo gerados para utilização em diversos itens de avaliação.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

O presente trabalho foi estruturado com o objetivo de estudar a área de Planejamento, Programação e Controle da Produção em ambientes de produção sob encomenda, suas relações com os sistemas comerciais: MRP II, JIT, OPT e PERT/CPM e os impactos da implantação de um sistema de programação e controle da produção baseado no método PERT/CPM associado às heurísticas: CMCR (Comprimento Máximo do Caminho Restante) e CROC (Convergência dos Recursos na Otimização do Caminho). Este estudo, mais especificamente, proporcionou o desenvolvimento e implantação de um sistema voltado para as particularidades de um ambiente de produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos e grãos em geral, com ênfase maior para os problemas referentes ao sequenciamento da produção.

Na produção sob encomenda ou processos por projeto, o principal fator a ser resolvido pelo Planejamento, Programação e Controle da Produção, especialmente no sequenciamento das atividades, é o problema da alocação dos recursos múltiplos restritos disponíveis, no sentido de assegurar a data de conclusão do projeto. No entanto, como a bibliografia já sinalizava, as empresas têm grandes dificuldades em sequenciar a produção, na tentativa de conciliar uma elevada taxa de utilização dos recursos produtivos com os prazos acordados com os clientes; especialmente devido ao grande número de variáveis envolvidas, dificuldade de padronização dos produtos e dos métodos de trabalho, pequena quantidade a ser produzida, elevado custo para a automação dos processos produtivos e, principalmente, falta de sistemas computadorizados de baixo custo, que trabalhem em plataformas de microcomputadores e que utilizem uma lógica compatível com a realidade industrial em prática, sobretudo em ambientes de produção sob encomenda.

Neste trabalho, buscou-se o desenvolvimento de um sistema baseado no método PERT/CPM, por ser a técnica mais empregada para planejar, sequenciar e acompanhar projetos, mas que utilizasse a lógica da capacidade finita. Neste sentido, associou-se o método PERT/CPM às heurísticas CMCR e CROC, que alocam os recursos, após uma priorização das atividades, somente se se encontrarem disponíveis.

O modelo de PCP proposto, do qual o sistema desenvolvido faz parte, leva em conta os três níveis do PCP. Ou seja, do planejamento estratégico da produção, no nível

estratégico, ao acompanhamento diário da programação do chão de fábrica, no nível operacional. A ênfase dada foi à programação e controle da produção, no nível operacional e, no nível tático, à programação do Plano-mestre de Produção ou meta trimestral, tornando-o, dependendo da frequência com que o apontamento é introduzido, um sistema de tempo real.

Ficaram evidentes as dificuldades de implantação e uso de sistemas comerciais de PCP em ambientes de produção sob encomenda, tais como: MRP II, JIT, OPT e PERT/CPM, mostrando-se que os mesmos não enfatizam, como princípio ou filosofia do sistema, o cumprimento dos prazos acordados junto aos clientes, premissa básica inicial deste trabalho, até mesmo como uma condição de sobrevivência das empresas fabricantes de máquinas e equipamentos para moinhos no futuro; ou utilizam a lógica dos recursos ilimitados ou infinitos, o que é incompatível com a grande maioria das empresas industriais, que tem um quadro de funcionários e uma infra-estrutura produtiva limitados. Isto é, possuem uma capacidade finita. Neste sentido, mostro-se, também, a tendência mundial das *Software House* em desenvolver sistemas com capacidade finita que estejam mais próximos do chão de fábrica, muito embora a ênfase seja dada aos *software's* de simulação.

A contribuição deste trabalho, sem dúvida, é grande no que diz respeito à possibilidade de se obter um ambiente de produção sob encomenda de máquinas e equipamentos para moinhos gerando uma programação baseada em PERT/CPM, que é a melhor técnica para o seqüenciamento nos processos por projeto, e, ainda, levar em conta a capacidade finita do sistema produtivo.

A solução apresentada mostrou-se bastante econômica, podendo, inclusive, ser utilizada por micro e pequenas empresas e em diversos segmentos da economia, já que roda em equipamentos de fácil obtenção, baixíssimo custo e, conseqüentemente, baixos custos de manutenção. Também fica evidente que a metodologia é factível de novos avanços, já que outras heurísticas podem ser facilmente implementadas buscando-se, cada vez mais, uma melhor programação; porém dentro da mesma estrutura lógica.

Muito embora não tenha sido considerada aqui a qualidade do programa desenvolvido, o sistema se mostra bastante eficiente em termos de tempo e esforço computacional, gerando as informações necessárias quase que instantaneamente, o que é de fundamental importância na elaboração de orçamentos, definição de prazos de entrega, análise de desempenho, entre outros.

A revisão bibliográfica realizada mostrou a inexistência de aplicações de sistema de programação e controle da produção baseados em PERT/CPM e que utilizem a lógica dos recursos múltiplos restritos ou recursos finitos, especialmente na produção de máquinas e equipamentos para moinhos. O assunto proposto nesta dissertação é ainda incipiente e as publicações pouco tratam sobre ele.

5.2 RECOMENDAÇÕES

A continuidade deste trabalho, sem dúvida alguma, é uma necessidade para o aprimoramento deste modelo. Em algumas situações onde, por exemplo, há grande diferença entre as durações de atividades paralelas, o resultado obtido não é muito bom, se se pretende minimizar o tempo total de execução da rede. Nestes casos, e outros, há necessidade do desenvolvimento de novas heurísticas para, em conjunto, exaurir todo o conjunto de possibilidades e obter a melhor programação possível.

Outra linha que deve ser explorada é a possibilidade do uso de máquinas que alimentam o sistema em tempo real. Isto é, todos os dados não mais seriam apontados para posterior introdução no sistema, e sim diretamente através de coletores de dados. Isto permitiria reprogramações constantes e maximizaria a utilização dos recursos produtivos, além da geração, em tempo real, de uma série de informações de extrema importância para a gerência.

Outra possibilidade de continuidade deste trabalho é sua comparação mais efetiva com as técnicas de simulação, bastante utilizadas hoje.

Finalmente, o controle da área de compras e suprimentos que não foram abordados diretamente neste trabalho, mas que podem ser implementados de maneira, relativamente, fácil. A lógica é, praticamente, a mesma utilizada na programação efetuada, com uma única diferença: um recurso utilizado do almoxarifado não mais retornaria para ser reutilizado noutra ocasião; ao invés disso, seria dado baixa daquele item no estoque. Isto, evidentemente, pode ser feito para todos os itens utilizados pela empresa e, em especial, para aqueles itens de maior consumo e do qual o almoxarifado é constantemente suprido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **Terminologia do PERT/CPM**; Anteprojeto da Norma Brasileira, Rio de Janeiro, 1972.
- ASHOUR, S., **Na experimental and computational evaluation of flow shop scheduling problems**, Operation Research, v. 3, n. 18, pp. 541-548, 1970.
- ASHOUR, S.; HIREMATH, S. R., **A branch-and-bound approach to the job shop scheduling problem**, Int. J. Prod. Res. 11, 1, pp. 47-58, 1973.
- BAKER, K. R., **Introduction to sequencing and scheduling**, John Wiley, 1974.
- BAKER, K. R.; SCHRAGE, L. E., **Finding and optimal sequence by dynamic programming**, Operation Research, v. 26, n. 7, pp. 111-120, 1978.
- BALAS, E., **Discrete programming by filter method**, Operations Research, v. 5, n. 15, pp. 915-917, 1969.
- BELCHIOR, P. G. O., **Métodos de caminho crítico (PERT/CPM) na administração de projetos**, Primeira Edição, Rio de Janeiro, Editora Americana, 1974.
- BICHENO, J., **Implementing JIT**, IFS Publications, 1991.
- BOAVENTURA NETTO, P. O., **Teoria e modelos de grafos**, Primeira Edição, São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1979.
- CARDOSO, C. R. O., **Nivelamento de recursos em redes de atividades**, Anais do 16^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP, 1996.
- CARDOSO, C. R. O.; SOARES, S. R.; OLIVEIRA, C. A., **Comprimento máximo do caminho restante**, Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 1982.
- CARLIER, J., **Problèmes d'ordonnancements à contraintes de ressources**, Tese de Doutorado, Universidade de Paris, Paris-França, 1984.
- CARVALHO, C. R. V.; ANDRADE JUNIOR, **Uma abordagem atual para promover o conhecimento em simulação discreta**, Anais do 14^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP, 1994.
- CHENG, L. G.; SILVA, J. M.; LIMA, F. P. A., **Desafios da qualidade e produtividade à Engenharia de Produção do Brasil**, Anais do 14^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP, 1994.
- CORRÊA, H. L., **Sistemas integrados de planejamento dos recursos de manufatura: contribuição à análise de adequação e aplicação**, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, USP, 1988.

- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N., **Just-in-time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico**, Primeira Edição, São Paulo, Editora Atlas, 1993.
- CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N., **Moving from manufacturing resource planning to just-in-time manufacturing**, Production and Inventory Management Journal, First Quarter, 1996.
- COSTA, R. S., **Pontualidade total na produção sob encomenda: conceito, tecnologia e uso da simulação computacional na gestão do chão-de-fábrica**, Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, UFRJ, 1996.
- CUKIERMAN, Z. S., **O modelo PERT/CPM aplicado a projetos**, Quinta Edição, Rio de Janeiro, Editora QualityMark, 1993.
- DANTZIG, G., **A machine-job scheduling model**, Managment Science, v. 1, n. 6, pp. 191-196, 1960.
- DUPONT, L., **Algorithmes e ordonnancements**, Tese de Doutorado, Université Scientifique et Médical de Grenoble, France, 1986.
- ERCHLER, J.; ROUBELLAT, F.; FOUNTAN, G., **Potetiels sur un graphe non-conjonctif et analyse d'un problème d'ordonnancement à moyens limités**, RAIRO, 13, pp. 363-378, 1979.
- FFKUDA, S.; YOSHIKAWA, K., **Neural net approach to the determination of welding sequence**, Proceeding of the Japanese Manufacturing, v. 524, pp. 197-202, 1990.
- FOO, Y. P. S.; TAKEFUJI, Y., **Integer linear programming neural networks for job-shop scheduling: parte 1. Problem representation**, Proceeding of the IEE international Conference na Neural Networks, v. 2, pp. 275-282, 1988.
- FREITAS FILHO, P. J., **Avaliação de desempenho de sistemas flexíveis de manufatura pelo uso de sistemas inteligentes de simulação**, Anais do 14^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP, 1994.
- FREITAS FILHO, P. J.; CUNHA, C. A. J., **Avaliação do desempenho operacional de sistemas flexíveis de manufatura: uma abordagem via simulação**, Anais do 15^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP, 1995.
- FURTADO, A. L., **Teoria dos grafos: algoritmos**, Primeira Edição, Rio de Janeiro, Editora LTC, 1973.
- GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S., **Computers and intractability the theory of np-completeness**, Freeman, 1979.
- GIGLIO, R., **Approximate solutions to the three-machine scheduling problem**, Operation Research, v. 2, n. 12, pp. 306-324, 1964.
- GONDRAN, M., **Programmation combinatoire**, Bulletin EDF C 2, pp. 45-66, 1974.

- GONDRAN, M.; DOSTATNI, M., **Le traitement des exclusives dans planec**, Bulletin EDF C 1, pp. 69-78, 1977.
- GUPTA, J., **The generalized n-job, m-machine scheduling problem**, Operation Research, v. 3, n. 8, pp. 171-185, 1971.
- HILLIER, S. F.; LIEBERMAN, J. G., **Operations research**, Primeira Edição, New York, Editora Holden-Day, 1993.
- HIRSCHFELD, H., **Planejamento com PERT-CPM e análise do desempenho**, Terceira Edição, São Paulo, Editora Atlas, 1973.
- JACOBS, L. W.; LAUER, J., **DSS for job shop machine scheduling**, Industrial Management & Data System, v. 94, n. 4, pg. 15-23, 1994.
- JURAN, J. M.; GRZYNA, F., **Controle da qualidade handbook**, Primeira Edição, São Paulo, Editora Makron Books/McGraw-Hill, 1991.
- KANET, J. J., **Real decision support for production scheduling and control**, Production & Inventory Management, September, pg. 24-25, 1991.
- KAUFFMAN, A.; LABORDERE, A. H., **Méthodes et modèles de la R. O.**, Dunod, 1974.
- LANGEWEG, B. J.; KAN, A. H., **Job-shop scheduling by implicit enumeration**, Management science, 24, pp. 441-450, 1977.
- LAWRENCE, A., **MRP, OPT, JIT: the facts**, Industrial Computing, September, 1987.
- MANNE, A., **On the job-shop scheduling problem**, Operation Research, v. 2, n. 8, pp. 219-223, 1960.
- MEGUELATI, S., **Méthodes de classification pour la constitution d'îlots et l'ordonnancement**, Tese de Doutorado, Laas/Insa, Toulouse-France, 1988.
- MELLO, M. C. F., **Desenvolvimento de um sistema de programação visual e controle da produção assistido por computador**, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, USP, São Carlos, 1994.
- MONKS, J. G., **Administração da produção**, Primeira Edição, São Paulo, Editora McGraw-Hill, 1987.
- MOREIRA, D. A., **Administração da produção e operações**, Terceira Edição, São Paulo, Editora Pioneira, 1998.
- NEMHAUSER, G.; WOLSEY, L., **Integer and combinatorial optimization**, Georgia-Atlanta, John Wiley and Sons, 1988.

- NORONHA, A. B.; RIBEIRO, J. F., **Um método e um programa para o seqüenciamento da produção**, Anais do XXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional-SOBRAPO, 1994.
- NUNES, A. R. P. et al., **O uso integrado do JIT, MRP II e simulação numa empresa que conjuga produção repetitiva e produção sob encomenda**, Anais do 16^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP, 1996.
- PALOMINO, R. C., **Aspectos relevantes na implantação do MRP II**, Anais do 16^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP, 1996.
- PEDROSO, M. C.; CORRÊA, H. L., **Sistemas de programação da produção com capacidade finita: uma decisão estratégica ?**, Revista de Administração de Empresas da Fundação Getúlio Vargas-RAE, v. 36. n. 4, pg. 60-73, Out./Nov./Dez. 1996.
- PORTMANN, M. C., **Méthodes de decomposition spatiales et temporelles en ordonnancement de la production**, RAIRO, 22, pp. 439-451, 1988.
- PRAWDA, J., **Metodos y modelos de investigacion de operaciones**, Primeira Edição, Barcelona, Editora Limusa, 1984.
- RABUSKE, M. A., **Introdução à teoria dos grafos**, Primeira Edição, Florianópolis, Editora da UFSC, 1992.
- ROUBELLAT, F.; THOMAS, V., **Une méthode et un logiciel pour l'ordonnancement en temps reel d'ateliers**, RAIRO, 22, pp. 419-438, 1988.
- SANTOS, S. M., **O conceito planejamento fino e controle da produção aplicado em ambiente de ferramentaria**, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 1997.
- SILVA, J. L. C., **O problema de seqüenciamento ótimo em produção industrial**, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Matemática, UFC, Fortaleza, 1996.
- SLACK, N. et al., **Administração da produção**, Primeira Edição, São Paulo, Editora Atlas, 1997.
- STEPHAN, F.; FRANÇOIS, S., **PERT and crashing revisited mathematical generalizations**, European Journal of Operational Research, pg. 286-294, 1993.
- STORN, A., **Computational experience with integer programming for job shop scheduling**, Industrial Scheduling, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1963.
- SUCOMINE, R. K.; RESENDE, M. O.; **Uma proposta de estimativa e controle do "lead-time" de manufatura**, Anais do 16^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP, 1996.

- SZWARCFITER, J. L., **Grafos e algoritmos computacionais**, Primeira Edição, Rio de Janeiro, Editora Campos, 1984.
- TAILLARD, E., **Benchmarks for basic scheduling problem**, European Journal of Operational Research, pg. 278-285, 1993.
- TEIXEIRA, R. C. F.; TEIXEIRA, I. S., **Uma análise de como implementar os princípios da filosofia JIT**, Anais do 16^o Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP, 1996.
- TUBINO, D. F., **Manual de planejamento e controle da produção**, Primeira Edição, São Paulo, Editora Atlas, 1997.
- TURNER, W. C. et al., **Introduction to industrial and systems engineering**. Terceira Edição, New Jersey, Editora Prentice Hall, 1993.
- VON LANZENAUER, C., **A linear programming solution to the general sequencing problem**, Canadian Operational Research, v. 2, n. 8, pp. 129-134, 1970.
- VOSS, C. A., **Just in time manufacture**, IFS Publications, 1991.
- WAGNER, H., **Na integer linear programming model for machine scheduling**, Naval Research Logistics Quarterly, n. 6, pp. 131-140, 1959.
- WIGHT, O., **Manufacturing resources planning: MRP II**, Primeira Edição, New York, Editora Olivier Wight, 1984.
- YAMAMOTO, M., **Na approximative solution of machine scheduling by decomposition method**, Int. J. Prod. Res., 15, 6, pp. 599-608, 1977.
- YAMAMOTO, M., **Scheduling/rescheduling in the manufacturing operating system enviroment**, Int. J. Prod. Res., 24, 3, pp. 705-722, 1985.
- YEH, J.; CHANG, K.; LIN, C., **Dynamical neural network approach to the job-shop scheduling**, Journal of Information and Optimization Sciences, 16, 1, pp. 17-38, 1995.